NEDO
ロボット白書 2014

社会を変えようとするとき、そこにロボット技術がある！

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

〜ロボット白書の編集にあたって〜

近年、「ロボット技術」が転機にあるといわれるようになりました。

確かに、マスコミに登場するロボット達は、夢を与え、未来を予感させる主人公として紹介されるのが常ですし、私たちも、映画のように二足歩行ロボットが平然と私たちの日常生活の場で同居している姿を漠然と思い描いていました。また、素早く正確に黙々とものづくりをこなす産業用ロボットも、日本の競争力を象徴するかのような頼もしい姿に見えました。

しかし、ロボット研究者の間では、世界中でロボット技術が進歩するにしたがって、ロボットが技術的に達成できそうなこと、達成させなければならないこと、技術的には達成するだろうが社会には容易に受け入れられないであろうことなどが、徐々に認識されるようになりました。

例えば、売上高が兆円規模の大企業が、一台何円のロボットを、ターゲットを誰として何台販売し続ければ、その大組織のビジネスを維持することができるのか。そして、そのようなロボットが人間に代わってしてくれることは、機械に代わって欲しいと思うほど価値あることなのか。ロボットが社会に普及する（受け入れられる）ということは、老若男女に使われることになるが、安全性等は大丈夫か等、夢から覚めるような現実的な課題に突き当たるようになりました。

今後、ロボットが社会で真に必要なパートナー的存在として私たちの暮らしを支えつつ、技術立国と言われる日本を代表する産業であり続けることを見据え、既に多くの専門書や雑誌等が世に出されているなかで、私達は、ロボットを取り巻く様々な課題等を見つめ直し、より現実的な視点から、今後の見通しや目指すべき姿などを整理し、国民の皆様に理解していただくべく、本書を編集することとしました。

本書は、多く専門書と同様に、ロボットの用途、機構等によって「産業用ロボット、サービスロボット」などの分類と章構成がなされています。しかし、各ロボットに期待される役割や機能、ロボットに課せられた課題や将来の進化の方向等は異なることから、構成や記述のアプローチは章ごとに異なる箇所があり、それぞれに特徴的なメッセージも込められています。

また本書は、ロボット技術者によるロボット技術者のためだけの解説書にならないように詳細は専門書に任せつつ、専門家から一般の社会人や学生までを幅広く対象として、本書を読めばロボット技術全体が見渡せて、また、新たなビジネスを起こしたい人に対する橋渡しとして、その人が抱える課題に対してロボット技術が解決手段になりうることを伝え、最終的にはロボット産業の活性化につなげることを目指しています。

本書には、「社会を変えようとするとき、そこにロボット技術がある！」という編集委員からの熱いメッセージが込められていますので、本書を手にされた方々がロボット技術を使った新たなビジネスの可能性を発想され、ひいては、日本のロボット産業の発展や競争力の強化に貢献できれば幸甚です。

平成26年3月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

技術開発推進部 機械システムグループ

目　次

コラム目次

1 ロボットについて

1.1. ロボットの定義

（1）はじめに

本白書ではロボットをどのようなものと設定して論じているのか、一応の統一的な定義、考え方を述べておく必要があろう。ところがロボットについて完全に一般性をもった定義というのは実は存在しない。その理由は後ほど説明するものとして、まずは有識者らによる代表的な定義の例をいくつか紹介する。

ロボットの学術的な定義として、日本ロボット学会が編纂したロボット工学ハンドブック（1990、2005）には学会の代表者によるものが多数、紹介されている[1]。

1967年に開催された第1回ロボットシンポジウムでは、森政弘・合田周平により「移動性、個体性、知能性、汎用性、半機械半人間性、自動性、奴隷性の七つの特性をもつ柔らかい機械」という定義が提唱された。なお、森は後ほど「自動性、知能性、個体性、半機械半人間性、作業性、汎用性、情報性、柔軟性、有限性、移動性」の10項目であらわされるものと改訂している。人間型ロボット研究開発の草分けであった故加藤一郎は「①脳と手と足の3要素をもつ個体、②遠隔受容、接触受容器をもつ、③平衡覚、固有覚をもつ、これらの3条件を備える機械」とし、自らもこれは人間もどきのイメージが強いとしている。

海外の代表的研究者の定義も紹介されている。たとえばスタンフォード大学のB.Rothは「ロボットとは人間や他の動物あるいは機械と連携して仕事をする機械であって、自動型と半自動型がある。ロボットとは他の自動機械との区別はあまりはっきりしていなくて、かなり気まぐれ的で商業主義的なところがあり、また時間的にも意味は移り変わっている」と述べたとされている。

一方で実用的な「産業用ロボット」については、日本工業規格（JIS）の「産業用マニピュレーティングロボット-用語」（JIS B 0134-1998）の用語の1100番に「自動制御によるマニピュレーション機能または移動機能をもち、各種の作業をプログラムによって実行できる、産業に使用される機械」と規定されている。要するに、ロボットの定義は時と場合によるというわけである。

このようにロボットの定義が多種多様な理由は、そもそも定義というものが何らかの用途を前提としたものだからである。学術的な定義は当然、適切な研究分野を設定し、そこでの相互の意見交換のためのものとなるであろう。産業的な定義は、製品としてのロボットを作り、利用していくために必要な情報の集まりである。このように、学術的議論のための定義と産業用

製品としての定義とでは当然異なったものとなっても不思議はないのである。

流動的な理由としては、そもそも時代とともに科学技術はもとより、産業構造、社会制度、文化なども変化し、ロボットの役割や受け取られ方も変遷してきていることがある。より具体的な技術的観点から重要な背景と考えられるのが、ロボットの部材要素である計算機や電子機器などの著しい発展とそれによる新規な技術製品の登場や工業の用途の広がりがある。つまり、従来のロボットの定義のままでは新しいロボットの研究開発やロボット技術を利用した応用展開には不十分になってきたからである。これらのような科学技術全般の時空的な展開、ロボットやロボットを利用した人間社会の未来展望等について、ロボット分野に関するアカデミック・ロードマップにおいて網羅的に論じられているのが興味深い。

本白書は主にロボット技術に基づく新産業創出、新市場創出などロボット化産業に関心のある人々への情報提供を目指すものである。この目的からはロボットそのものよりむしろロボット化産業の活性化手段として大いなる可能性を秘めた「ロボット技術」とその活用例を説明していくことに力点が置かれている。そのため、既存の定義だけでなく、将来展開を考えたロボットの定義の方も重要である。

産業政策としてロボットを論じた代表的なものとして、平成13年に出された「21世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書」[2] では次のように述べられている。

> ロボット技術を、産業用ロボットのように要素が統合された結果としてのシステム技術としてはとらえず、それを構成する機能要素と、その構成要素をインテグレートする技術としてとらえる新たな視点を導入し、また、この技術の枠組みの中で多様な規模のビジネスを成立させるための一つの戦略として、「オープン化」を提唱し、その実現のために産学官で連携すべきことを提言する。
> （中略）ロボットから形の拘束をはずし、（中略）「ロボット技術を活用した、実世界に働きかける機能を持つ知能化システム」を広い意味でのロボットととらえ、その技術の総称を「RT-Robot Technology」と呼ぶこととし、その視点から、RTと産業の戦略を構築する。（以下略）

将来のニーズへのRTの応用は、ユーザが抱えている問題を分析し、いくつかの既存技術を組み合わせて、ユーザの要求に合わせたシステムを作りあげるというシステムインテグレーションを主体とした手段で対応せざるを得ない。このようなシステムインテグレータが主体となる大小の「ソリューションビジネス」が活躍できるような産業として、将来のロボット産業を創成する戦略を策定する必要がある。

このように、同報告書では、外見的なロボットではなくロボット技術がもつ、システムインテグレーションやソリューションビジネスなどの新たなコンセプトを生みだす能力、いわゆるイノベーション力に注目している。

これを受けた平成18年のロボット政策研究会報告書[3]でもロボットを次のように定義している。

本研究会においては、ロボットを市場の側から捉えることに主眼を置いているため、ロボットを形状ではなく、「市場で必要とされる機能を発揮するために要素技術を統合したもの」という視点から定義することが適当である。さらに、RT（ロボット技術）とITの関係も、明確にすべきと考えた。このため、本研究会では、「ロボット」を、「センサ、知能・制御系、駆動系の３つの要素技術を有する、知能化した機械システム」として、広く定義することとする。

ここでのロボット技術の定義のポイントは、「市場で必要とされる機能を発揮するために」さまざまな要素を統合したものとしているところであろう。

ロボット産業政策的な定義の意味するところ、目指すところは言うなれば、科学技術を利用して人類社会を進歩させていく努力の中で、ロボット技術はその役割をますます高めていくであろうという期待である。ロボットの定義として過去のものは未来のものを考える参考にはなるが、それに縛られる必要もないし、むしろ未来のための定義を創っていくことの方が社会にとって有益なものになるであろう。本白書自体がそのような試みの一つに他ならない。そのようなものとして、本章のこの時点におけるロボット及びロボット技術の定義をとりあえず下記のようにまとめておくことにする。

ロボット及びロボット技術の定義

ある対象について、それをロボット政策研究会での定義に矛盾しない程度に「ロボット」あるいはロボット技術を取り入れたシステムとしてのロボットやロボット化された装置と捉えることで、当該「ロボット」に関心を持つもの同士の情報交換、連携活動が促進され、それにより当該対象がより発展し、その製品化、事業化、サービス産業等への展開、公共部門も含む社会実装等に結びつくことが期待される工学的製作物及び当該物の製作と、製造業分野はもとよりサービス業分野さらにはロボット化することで価値創造が可能となるあらゆる分野での利用に関わる中心技術をロボット及びロボット技術と定義する。

かなりご都合主義的、トートロジー的に見えるであろうが、ロボットの特徴であるシステム性、課題解決型、進化的というようなものはこのような表現にならざるを得ないと思う。とりあえずこれを本白書におけるロボット／ロボット技術の定義の出発点とする。より具体化された事例としては2章以降、この定義のような形でロボット／ロボット技術が様々な分野やニーズのコンテクストで示されてゆくであろう。

（2）まとめ

本章では、本白書を読み進めるにあたり、読者に「ロボット」や「ロボット技術」をどのように捉えてほしいかという観点からロボットの定義を検討した。つまり、本白書の読者はロボットの新規導入やロボットに関連した新産業創出に関心のある人々であるという想定で、そのような人々にはロボットやロボット技術というものを既成概念にとらわれず、産業や社会の発展に資する何かであると柔軟に捉えてもらいたいという意図から、やや難解な定義となってしまった。この定義の詳細にこだわらず、ロボットやロボット技術を活用した社会の発展に参画する気持ちで以降を読み進めていただければと思う。

参考文献

[1]　梅谷陽二，“ロボットという言葉”，新版ロボット工学ハンドブック，日本ロボット学会編集，コロナ社，2005, pp.3-6.

[2]　21世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書，日本ロボット工業会，2001年5月.

[3]　ロボット政策研究会報告書，2006年5月.

1.2. ロボットの歴史

ロボットの歴史の起源は、自動機械の原点であるオートマタ（図1-1）あたりからスタートするのが適切であろう。原理は、時計の機構を応用した一定クロックをもとに、カム・リンク機構からなるからくりを駆動する。オルゴールもその一つである。

図1-1　オートマタ

（出典：京都嵐山オルゴール博物館　http://www.orgel-hall.com/museum/003auto.html）

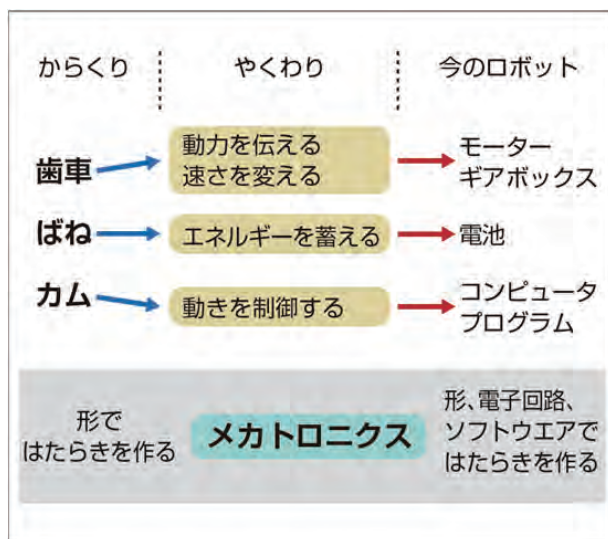
日本でも、からくり人形として広く知られる、茶運び人形がある（図1-2）。その仕組みは機巧図彙（図1-3）に記されている。すなわち、エネルギー蓄積にバネを用い、歯車で動力を伝達変換、カムとリンク機構で運動を設計実行している。すなわち、形で機能と性能を実現してきた。

翻って、現在のロボットは、エネルギー源に電力、油圧など、動力伝達には電力や油圧モータ、ギヤを用いて、制御には電子回路、コンピュータを用いて、いわゆる「メカトロニクス」(図1-4)と呼ばれている。

図1-2　茶運び人形

（出典：はらっく工房
http://hara-k.art.coocan.jp/zui-tyahakobi_306.JPG）

図1-3　機巧図彙

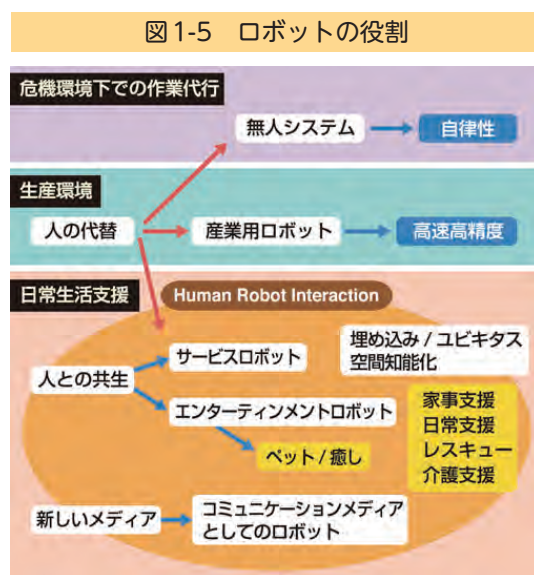
図1-4　メカトロニクスのイメージ

ロボットを構成する要素技術は多岐にわたるが、エポックメイキングな事例を以下にあげる。

- 1778年　蒸気機関の回転数制御（J.ワット）
- 1920年　C.チャペック　「RUR（ロボット）」
- ロケットの慣性誘導（V2号）→制御技術者がアメリカ、ロシアへ
- 船の舵取り制御、レーダーの方向制御、飛行機の自動操縦

- 工作機械の倣い制御→数値制御（NC）工作機械
- 1948年　N.ウィーナー「サイバネティクス」
- 1954年　G.デボル「プログラマブル搬送機」
- 1958年　シャノン＆ミンスキー「マニピュレータ」
- 1961年　エルンスト「マニピュレータ」実用化
- 1962年　産業用ロボット「ユニメート」、産業用ロボット「バーサトラン」
- 1967年　日本に上陸
- 1971年　マイクロコンピュータ

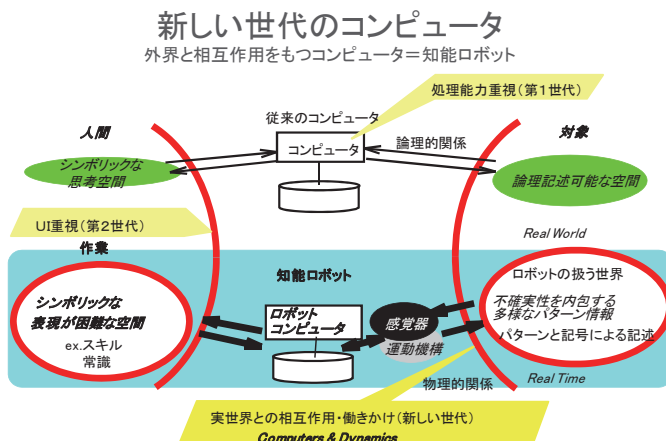
コンピュータの小型化、低価格化、高性能化、高信頼性、メモリの大容量化によるロボット制御機能の高度化、高信頼化、低価格化が実現した。産業現場において、自動車工場を代表とする少〜中品種大量生産における労働力代替と品質安定化を目的に、導入が図られた。

図1-5　ロボットの役割

2000年までは、ロボットを作ること自体が目的化していたが、従来の産業現場から、危険環境下での作業代行、日常生活支援に向け広がりが期待されている（図1-5）。

（1）ロボット技術の展開

これは、コンピュータの歴史に酷似している。すなわち、機械式計算機が、「計算」を行う機械であったのに対して、半導体技術、計算機技術の進展により、コントローラとしての適用範囲の広がり、ネットワーク化されることにより、人の思考と記憶、コミュニケーションを代替強化する脳機能の補完系として、ICTと呼ばれるに至っている。

ロボットも、人の労働力を代替する、マニピュレーション技術、移動技術、ビジョンを含む識別・認識技術、これらを統合したヒューマノイドと発展してきた。それに加えて、いわゆる「積み木の世界」のモデルベースから、実世界を対象とする、「実世界コンピューティング」への発展にともない、実環境へのサービスが期待されている。すなわち、コンピュータが脳の外化により人の思考・記憶能力を拡張したのに加え、人の身体能力を補完拡張するためにロボット技術（RT）を使用し、超高齢社会における社会のバリアフリー化、個人の能動的活動を支援することが期待されている（図1-6）。

図1-6　新しい世代のコンピュータ

(2) 実世界コンピュータとしてのロボット

これらの事例としては、DARPAのGRAND　Challenge、Urban Challenge、日本におけるつくばチャレンジ（RWRC）など、近年ではDARPAのRobotics Challengeがあげられる。

これらロボット技術は、自動車の自動運転技術などに展開され、アメリカではカリフォルニア州でGoogleにより実際に運用されている。

また、個体のロボットに全ての機能を集積して高度なロボットを作る対極として、空間にロボット機能（センサ、アクチュエータ、ロボット）を分散させ、ネットワーク技術、分散オブジェクト技術で連携させ、人を囲む環境を知能化することにより、人の生活を支援する方向も着実に進展している。（図1-7）、（図1-8）に2025年における生活支援ロボットの利用シーンの例を示す。

このような分散システムを構成し、運用する際の課題は、様々な要件に対してカスタマイズするための、要素技術の構造化・部品化（コンポーネント化）である（図1-9、図1-10）。コンピュータのマーケットはアプリケーションソフトとハードウェアの標準化で大きく拡大した。ロボットの世界も、スクラッチでシステムを開発するのではなく、ソフトウェアのフレームワークとハードソフトのモジュール化は必須で、RTミドルウェアなどの標準化技術の活用が要となる。

すなわち、歴史的にみるとRTは、

- ITよりもさらに大きいインパクトがある
- 身近な様々なデバイス・装置に始まり、産業システム、大きな社会システムにまで深く埋めこまれる（Embedded RT）
- 知的支援システムとして分散し、ネットワークにより協調する（Ubiquitous RT）
- きわめて広い範囲で、われわれの生活を豊かなものとしてくれる
- オープン化→相互利用性、情報の再利用性

• コンピュータによる脳の外化＆身体性の外化

と言うことができる。

図1-7　2025年における生活支援ロボットの利用シーンの例
＜ニーズ＞ロボットがいる安全・安心な生活

図1-8　2025年における生活支援ロボットの利用シーンの例
＜技術＞ロボットがいる安全・安心な生活

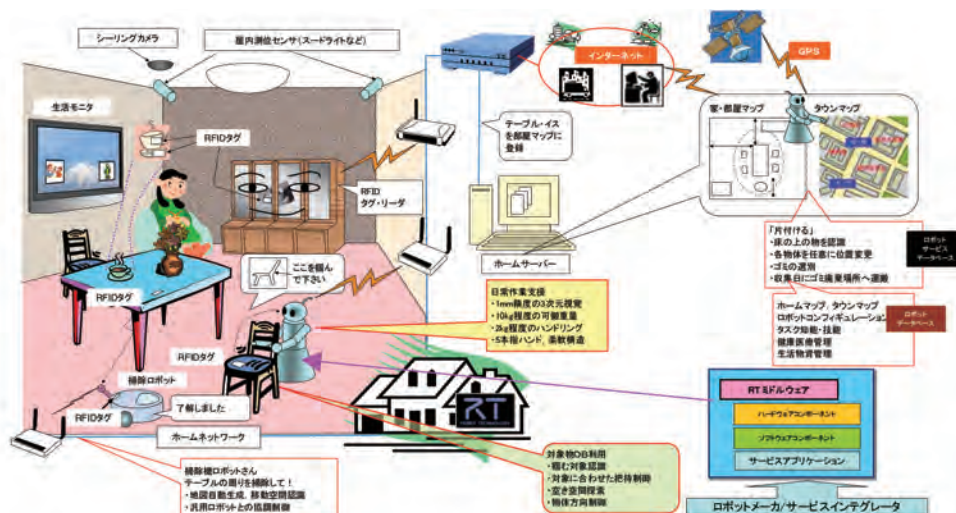



図1-9　空間知・空間構造化の機能

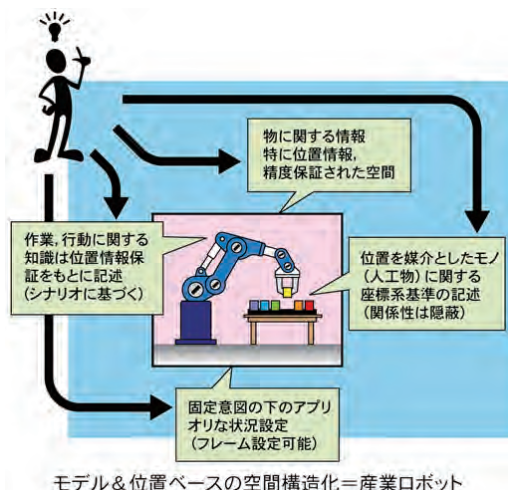
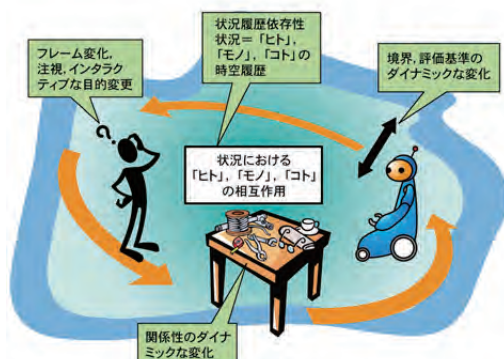
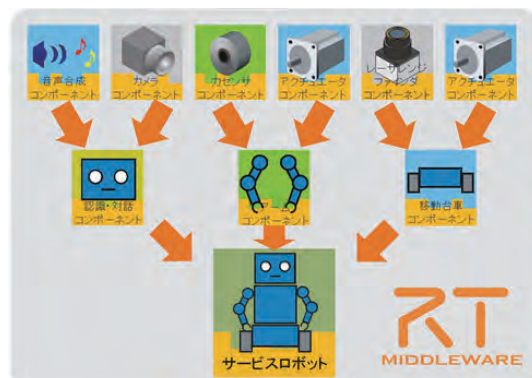



図1-10　リアルワールド構造化の課題

1.3. ロボットの技術要素

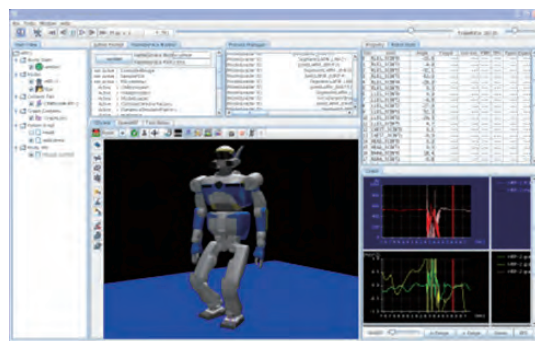
ロボットは多くの要素技術から構成されている。ここでは、「システム化技術」、「環境知能化技術」、「認識処理技術」、「センシング」、「コンピュータ」、「人工知能」、「制御」、「アクチュエータ」、「機構」という観点から、その技術を紹介する。

1.3.1. システム化技術

ロボットの特徴的な技術にシステム化技術がある。多数の技術要素を統合して、目的に沿ったシステムを構築することが、ロボットの開発では求められる。このシステム化を迅速に進めるための手法として、近年モジュール化とシミュレータを用いたオフライン開発が盛んである。従来のロボットは、スクラップアンドビルドにより開発されていたため、必ずしも効率が良いとは言えなかった。それに対して、RTミドルウェア[1](図1-11)を始めとする再利用性の高いミドルウェアの登場により、その様相が変わりつつある。RTコンポーネントのオブジェクトモデル仕様は、OMG[2]の標準仕様となっており、多くのコンポーネントが開発されている。例えば、OpenRTC-aist[3]として公開されているパッケージには、作業知能モジュール、移動知能モジュール、コミュニケーションモジュ

図1-11　RTミドルウェア

(出典：OpenRTM-aist
http://www.openrtm.org/openrtm/sites/default/files/835/rtsystem_integration_ja.png)

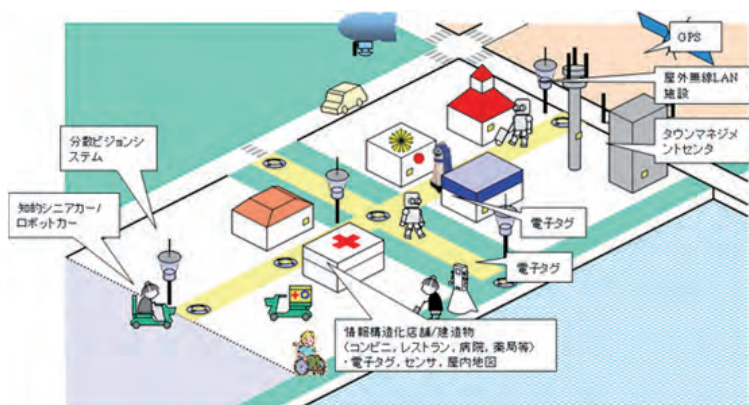
ールがあり、これらのコンポーネントを活用することで素早くシステムを開発することができる。これらのコンポーネントの多くはソースコードも公開しているため、機能を拡張することも可能である。なお、RTコンポーネントの他に、OSRF [4] が牽引するROS [5] も普及しつつあり、多くのソフトウェアがROS上で開発されている。さらに、RTミドルウェアとROSの相互接続も可能となり、さらに利便性が高まっている [6]。また、迅速な開発を助けるツールとして、シミュレータ（図1-12）は欠かせないものであるが、現在では目的に応じて様々なシミュレータが用意されている。例えば、OpenHRP [7]、Webot [8]、Gazebo [9]、Choreonoid [10] などがあり、オフラインでロボットの挙動の確認ができる環境が整っている。

図1-12　シミュレータの例（OpenHRP3）

（出典：OpenHRP3 Official Site
http://www.openrtp.jp/openhrp3/jp/about.html）

1.3.2.　環境知能化技術

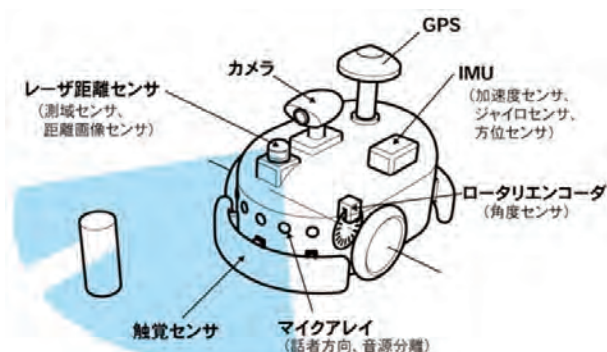
従来からロボット技術は、ロボットを高機能化することで、複雑な環境を認識して作業することを目指していた。現在では、これに加えて、環境を知能化または構造化することで、環境内にいる人を支援することや、ロボットが活動しやすい場を提供することが試みられている [11]。例えば、ロボティックルーム [12] では、環境にロボットを分散して埋め込むことで、環境全体で人を支援している。また、ロボットタウン [13]（図1-13）では、街や各施設に、センサネットワークや情報を格納したマーカを配置することで、ロボットの作業を支援している。このような環境整備は、自動車に例えると分かりやすいが、道路やガソリンスタンドが自動車

図1-13　ロボットタウン

（出典：九州大学　諸岡研究室　http://fortune.ait.kyushu-u.ac.jp/r-city-j.html）

を支えるインフラとしてあるように、ロボットのインフラも重要となる。

環境に設置するセンサとしては、カメラ、圧力センサ、レーザ距離センサ、焦電センサなどが使用されている。これらのセンサで得た情報から、ロボットや人などの状態を推定して、各ロボットに情報を伝達する。また、環境側にRFIDタグを取付けて、それをロボットが読み取ることで、物体の位置や種類を認識することも行われている。このように環境を整備することで、ロボットに要求される機能を大幅に低減させることができる。さらに、従来は屋外のみが対象であったGPSが、屋内に広がりつつある。無線LANを利用する方式[14]はすでに用いられているが、さらにIMES[15]のように、環境にGPS送信機を埋め込んで、従来のGPSをそのまま利用する方式なども模索されている。

1.3.3. センシング

図1-14　移動ロボットに使用されるセンサの例

ロボットは、感じて（sense）、考えて（plan）、動く（act）システムである。ここでは、まず「感じて」の要素を取りあげる。人には五感があるが、ロボットでは、「視覚」、「聴覚」、「触覚」に相当するセンサがよく使用される。また、「レーザ距離センサ」[16][17]、「GPSセンサ」など、ロボット独自のセンサも良く使用される。(図1-14）にロボットに使用されるセンサの例を示す。特に、距離画像センサに関しては近年のロボットの自律化の原動力となっており、これを用いた自律移動自動車も公道を走行し始めている[18]。これらのセンサはサイズの問題からロボットに搭載することは難しかったが、近年の微細加工技術の進歩により小型のロボットにも搭載できるようになってきている。特に、加速度センサ、ジャイロセンサ・方位センサなどの携帯電話にも用いられるセンサは、小型かつ安価なものが提供されるようになり、無人ヘリコプタなど姿勢制御が必要なロボットで効果を発揮している。さらに近年、人の活動をアシストするロボットの研究が盛んであるが、そこでは表面筋電位[19]や脳波[20]などの生体情報センシングがよく用いられている。

1.3.4. コンピュータ

コンピュータの性能の向上は、従来実用化が難しいと思われていた計算コストの大きいアルゴリズムを、リアルタイムに処理することを可能にした。画像処理やA*探索アルゴリズム[21]などが、ラップトップのコンピュータでもリアルタイム処理できるようになったことが、ロボットの自律化を加速させている。また、計算能力だけではなく、携帯端末向けのプロセッサは、サイズや消費電力を重視しており、これが自律ロボットの小型化を可能にしている。また、こ

れにともない、プロセッサを多数配置した分散協調制御型のロボットの開発も盛んに行われている。スーパーコンピュータのエネルギー消費効率を比較するGREEN500の結果を（図1-15）に示す[22]。これはハイエンドに関してのデータであるが、ミドルクラスのコンピュータも同様に消費電力あたりの演算性能は上がり続けている。

また、高機能なロボットでは、OSを搭載することが多いが、それに際して問題となるのはリアルタイム性である。近年はLinuxなどの汎用OSでも、ある程度リアルタイム性はあるが、厳密に周期的な制御を行う場合は、リアルタイムOSが必要となる。使用するCPUや機能に応じて、ART-Linux[23]（図1-16）、ITRON[24]、VxWorks[25]などが用いられる。これらのOSでは、近年のプロセッサのマルチコア化を反映して、リアルタイムに処理する同期的な処理と、GUIや通信などの非同期の処理を、各コアに割り当てて処理できるようになっている。

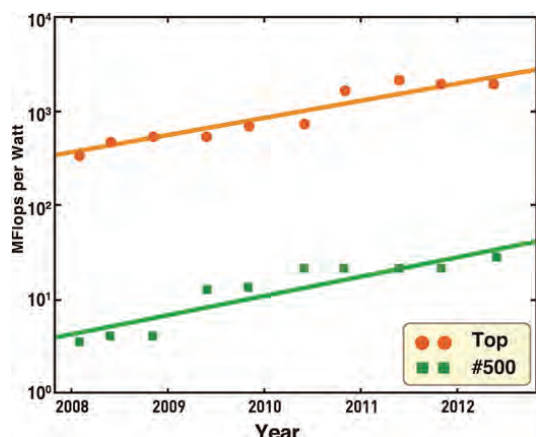
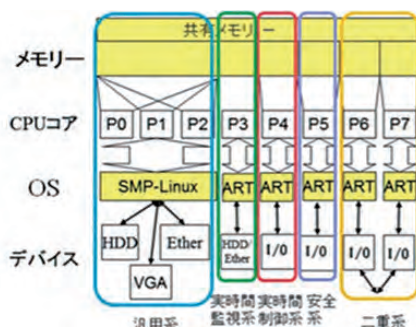
図1-15　GREEN500の推移
（消費電力1Wあたりの演算性能の比較）

（出典：The GREEN 500 をもとに作成
http://www.green500.org/）

図1-16　同期的・非同期的な処理の割り当てART-Linuxの例

（出典：産業技術総合研究所
http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2013/pr20130307/pr20130307.html）

1.3.5.　認識技術

人は五感から得た感覚を処理して、環境及び自分の状態を検知する。同様に、ロボットも、データを処理・統合することで、状態を認識する。これらの認識技術は、徐々に生活の中にも入ってきている。例えば、携帯電話では、音声認識による文字入力が一般的になってきた。また、自動車では衝突を予知してブレーキをかけるなど、事故を未然に防ぐ機能を搭載し始めている[26]。これらの認識技術は、モジュールとして提供されていることも多く、その場合比較的手軽に利用できる。特に、RTミドルウェアやROSにおいては、認識を行うモジュールが多数提供されており、ユーザはその恩恵を受けることができる。以下に、研究用ロボットでよく使用されるソフトウェアを示す。

- **音声認識**

音声認識エンジンとしてはJulius[27]が良く用いられている。ロボットのコミュニケーショ

ンモジュールであるOpenHRI[28]にも含まれており、音声認識を手軽に利用できるようになっている。

- **画像認識**

画像処理ライブラリとしては、OpenCV[29]が良く利用されている。基本的な画像処理だけでなく、人検出や学習など比較的新しい技術を取り込んで、汎用性の高い画像処理を提供するライブラリとなっている。また、簡便な画像処理環境として、Processing[30]なども用いられる。

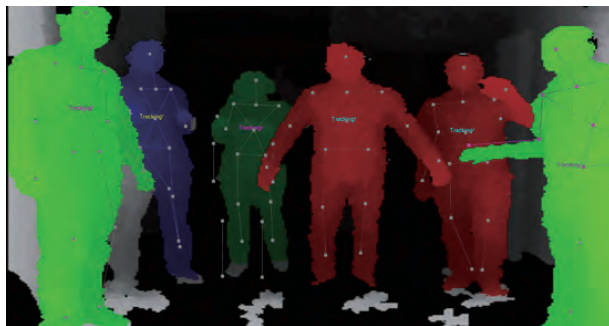
- **自己位置推定**

自律移動ロボットにおいて、自己位置推定は最重要の技術の一つである。近年、つくばチャレンジ[31]などを通じて実用的な自己位置推定技術が研究・開発されており、その知見を含んだRTコンポーネントなども提供されている。多くはモンテカルロ位置推定[32]を利用しており、動的に変化する環境でも安定して自己位置を推定することが可能となっている。

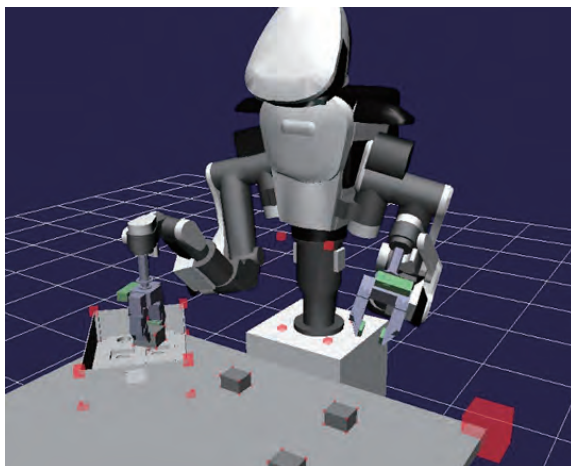
- **ポーズ・ジェスチャ認識**

人とコミュニケーションを行うロボットにおいて、人のポーズ・ジェスチャ認識は重要となる。これに関しては、近年めざましい進展があった。距離画像センサのデータを元に、OpenNI[33]（図1-17）などを用いて人のポーズ認識、さらにNITE[34]を使用してジェスチャ認識などが可能となっている。

図1-17　OpenNIを使用したポーズ認識

（出典：OpenNI
http://www.openni.org/wp-content/uploads/TEST.png）

1.3.6.　プランニング

認識した状態に基づいて、行動を選択するのがプランニングである。いわゆる「考える」ことに相当する。プランニングは作業計画、経路計画などに分かれる。作業計画の例としては、graspPlugin for Choreonoid[35]があげられる。これはロボット用統合GUIであるChoreonoidのプラグインとして開発されたもので、把持計画、軌道計画、物体操作計画などの機能を提供する。（図1-18）にシミュレーションの様子を示す。また、ロボットの開発環境である

図1-18　graspPlugin for Choreonoidを用いた行動計画

（出典：OpenRTM-aist　http://www.openrtm.org/openrtm/ja/nedo_irtpj/manipulation_RTCs）

第1章

OpenRAVE [36] では、様々なロボットを対象として、動作の最適化を行うことができるようになっている。

経路計画においては、自律移動ロボットが障害物を回避しながら、ゴールに到達できるような最適な経路を計画することが必要となる。これには、ダイクストラ法 [37] がよく用いられており、RTコンポーネントでも、OpenNavigation [38] で経路計画が提供されている。

1.3.7. 制御

制御は、選択した行動に基づいて「動く」部分を担当する。ロボットの制御は、メカニズムに依存するが、従来は制御が難しいとされてきた倒立振子型ロボット、歩行ロボット、飛行ロボットなどが安定して制御されるようになってきた。

- **倒立振子型ロボット**

代表的なロボットにSegway [39] がある。自律移動ロボットのプラットフォームとして、つくばチャレンジなどでも用いられている。一般的に、オブザーバ理論により姿勢を観測して、それをフィードバックすることで転倒しないように制御している。

- **歩行ロボット**

近年の歩行制御理論の進展はめざましいものがあり、BigdogやPetman [40] などは、外から衝撃力を加えても、安定して歩行を継続している。このAtlasをプラットフォーム（図1-19）としたロボティクスチャレンジが現在アメリカで行われており、実用化の期待が高まっている。また、歩行理論に関しては、解説書 [41] の充実や、RoboCup [42] 用ヒューマノイドロボットのソースコードの公開 [43] などもあり、その裾野を広げつつある。

図1-19　ヒューマノイドロボットAtlas

（出典：DARPA ROBOTICS CHALLENGE
http://www.theroboticschallenge.org/）

- **飛行ロボット**

近年、クアッドロータ [44] の飛行ロボットが手軽に利用できる環境が整ってきた。ジャイロセンサと加速度センサの値から姿勢を推定して、ロータを制御することで、所定の軌道を飛行したり、宙返りをしたりすることができる。飛行ロボットを用いた群制御の研究 [45] もなされており、協調して簡易的な構造物を作る様子も見られる。大型の飛行ロボットはすでに薬剤散布などに応用 [46] されているが、今後ますます応用されていく技術の一つであると考えられる。

1.3.8. アクチュエータ

アクチュエータは、一般的に電気式のモータが使用される。また、空気式や油圧式なども、制御技術の進歩により、徐々に活躍の場を広げつつある。

・電気式アクチュエータ（モータ）（図1-20）

モータは単体で使用することもあるが、制御回路とセットになっているものが多い。その場合、コンピュータと通信して、角度や角速度などを制御できるようになっている。通信規格は統一されていないが、多くは複数のユニットをデイジーチェーンで接続して、1台のコンピュータで制御できるようになっている。高い応答性の求められる用途では、コアレスモータ[47]が使用されることが多く、ヒューマノイドロボットなどに多く採用されている。小型のロボットでは、従来ラジコン用のサーボモータが使用されてきた。これらのモータはPWM信号により角度目標を与えてきたが、産業用と同様のRS485通信などを採用するようになってきている[48]。アブソリュートエンコーダ[49]やACモータを採用するものもあり、小型ロボットが製作しやすい環境が整いつつある。

図1-20　電気式アクチュエータとコントローラ

（出典：マクソンジャパン株式会社
http://www.maxonjapan.co.jp/maxon/view/content/products）

・空気式アクチュエータ

空気圧アクチュエータとしては、空気圧シリンダを利用するタイプと、ゴムの伸縮を利用して柔軟な動きをさせるタイプなどに分けられる。空気圧シリンダは電気式に比べて軽量・高出力であるため、一般的な関節駆動以外にも、ジャンプをするロボット[50]などに応用されている。また、ゴムの伸縮を利用して、人間との親和性の高いロボット[51]などが研究・開発されている。

・油圧アクチュエータ

油圧アクチュエータは、大出力を得たい場合に使用される。例えば、4足歩行ロボットのBigdogに採用されており、これにより107kgの本体でありながら、154kgのペイロードを有する[52]。

1.3.9. 機構

ロボットの機構は、用途に応じて個別に設計されることが多い。これは、モジュール化により開発が容易になったソフトウェアや制御回路の状況とは対照的である。ただし、機構におい

ても、例えば設計では、近年の3DCADなどの発達により徐々に容易になりつつある。先進的なCADでは、形状だけでなく、重量や干渉の計算、さらに有限要素解析や動力学シミュレーションと、設計者を助ける機能を多く提供している[53]。また、製作においても3Dプリンタの登場により、複雑な形状をデスクトップ上でも製作できる環境が整いつつある[54]。これを使用したロボットの製作も盛んに行われている。ロボット製作経験の無いホビイストの手によって作成された例もある[55]。なお、3Dプリンタで製作したロボットの形状データの多くが公開されるようになってきており、機構の再利用性という観点からも興味深い流れが起きつつある。ただし、現在普及している3Dプリンタの材料は主に樹脂であるため、高い強度が求められる用途には使用できない。これに対して、金属も扱える3Dプリンタ[56]も登場しており、今後のものづくりの流れを変える可能性があると考えられる。

ロボットの機構は、おおまかに分類すると、作業と移動に分けられる。作業に関しては、ハンド付きのロボットアームが用いられることが多い。また、移動に関しては、車輪ロボットが用いられることが多い。車輪ロボットは、全方向移動や不整地対応など、目的や環境により様々な種類がある。（図1-21）にRTミドルウェアリファレンスロボットであるOROCHI[57]を示す。作業部と移動部を持ち、RTコンポーネントが動作するようになっている。

図1-21　RTミドルウェアリファレンスロボット “OROCHI”

（出典：OpenRTM-aist
http://www.openrtm.org/openrtm/ja/node/5016）

参考文献

[1]　RTミドルウェアウェブページ　http://www.openrtm.org/
[2]　OMGウェブページ　http://www.omg.org/
[3]　OpenRTC-aistウェブページ　http://openrtc.org/
[4]　OSRF　http://osrfoundation.org/
[5]　ROSウェブページ　http://www.ros.org/wiki/
[6]　RTM-ROS相互運用プロジェクト　https://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/
[7]　OpenHRP3公式サイト　http://www.openrtp.jp/openhrp3/
[8]　Cyberboticsウェブページ　http://www.cyberbotics.com/
[9]　Gazeboウェブページ　http://gazebosim.org/
[10] Choreonoidウェブページ　http://choreonoid.org/
[11] 佐藤知正，森武俊，“環境の知能化と安全・安心・快適社会”，日本ロボット学会誌，Vol.25, No.4, pp.486-489, 2007.
[12] 佐藤知正，“生活を支えるネットワーク知能機械－ロボティックルームの試み”，東芝レビュー，Vol.56, No.9, pp.28-32, 2001.

[13] 長谷川勉，“環境プラットフォーム「ロボットタウン」”，日本ロボット学会誌，Vol. 26, No. 5, pp.411-414, 2008.
[14] PlaceEngineウェブページ　http://www.placeengine.com/
[15] IMESコンソーシアムウェブページ　http://keiosdm.sakura.ne.jp/imesconsortium/
[16] 北陽電機ウェブページ　http://www.hokuyo-aut.co.jp/
[17] Velodyneウェブページ　http://velodynelidar.com/
[18] Erico Guizzo, “How Google's Self-Driving Car Works”, IEEE SPECTRUM, October 18, 2011.
[19] 中井隆雄，山海嘉之，“表面筋電位を用いた外骨格パワーアシストシステムに関する研究”，第19回日本ロボット学会学術講演会講演予稿集，pp.1261-1262, 2001.
[20] 川人光男，“脳情報通信とブレイン・マシン・インタフェース”，バイオフィードバック研究，Vol.36, No.2, pp.101-107, 2009.
[21] PETER E. HART, NILS J. NILSSON, BERTRAM RAPHAEL, “A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths", IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, pp. 100–107, 1968.
[22] GREEN500ウェブページ　http://www.green500.org/
[23] ART-Linuxウェブページ　http://www.dh.aist.go.jp/jp/research/assist/ART-Linux/
[24] T-Engineフォーラムウェブページ　http://www.t-engine.org/
[25] WIND RIVERウェブページ　http://www.windriver.com/
[26] EyeSightウェブページ　http://www.subaru.jp/eyesight/
[27] Juliusウェブページ　http://julius.sourceforge.jp/
[28] OpenHRIウェブページ　http://openhri.net/
[29] OpenCVウェブページ　http://opencv.jp/
[30] Processingウェブページ　http://processing.org/
[31] つくばチャレンジウェブページ　http://www.tsukubachallenge.jp/
[32] Frank Dellaert, Dieter Fox, Wolfram Burgard, Sebastian Thrun. "Monte Carlo Localization for Mobile Robots", Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 2, 1999.
[33] OpenNIウェブページ　http://www.openni.org/
[34] NITEウェブページ　http://www.openni.org/files/nite/
[35] Choreonoidウェブページ　http://choreonoid.org/
[36] OpenRAVEウェブページ　http://openrave.org/
[37] Dijkstra, E.W. “A note on two problems in connexion with graphs”, In Numerische Mathematik 1, pp. 269-271, 1959.
[38] OpenNavigationウェブページ　http://openrtc.org/Mobile/
[39] Segwayウェブページ　http://www.segway-japan.net/
[40] Boston Dynamicsウェブページ　http://www.bostondynamics.com/
[41] 梶田秀司，“ヒューマノイドロボット”，オーム社，2005.
[42] RoboCupのウェブページ　http://www.robocup.org/
[43] DARwIn-OPダウンロードページ　http://sourceforge.net/projects/darwinop/
[44] AR Droneウェブページ　http://ardrone2.parrot.com/
[45] Alex Kushleyev, Daniel Mellinger, Caitlin Powers and Vijay Kumar, “Towards a swarm of agile micro quadrotors”, Autonomous Robots, Vol.35, Issue 4, pp.287-300, 2012.
[46] ヤンマー防除ヘリウェブページ　http://www.yanmar.co.jp/agri/products/unmannedHelicopter/

[47] マクソンジャパンウェブページ　http://www.maxonjapan.co.jp/
[48] 双葉電子工業，コマンド式サーボウェブページ　http://www.futaba.co.jp/robot/command_type_servos/
[49] アバゴ，磁気式エンコーダウェブページ　http://www.avagotech.co.jp/pages/en/motion_control_encoder_products/magnetic_encoders/
[50] 太田祐介，菊池文孝，広瀬茂男，米田完，“空気圧シリンダを利用した跳躍型4足ロボット「AirHopper」の開発”，設計工学，Vol. 43, No.8, pp.447-456, 2008.
[51] 佐々木大輔，則次俊郎，高岩昌弘，中西克文，丸田紘史，“空気圧ゴム人工筋を用いた上肢動作支援ウェアラブルマスタスレーブ装置の開発”，日本ロボット学会誌，Vol. 28, No. 2, pp.208-214, 2010.
[52] Marc Raibert, Kevin Blankespoor, Gabriel Nelson, Rob Playter and the BigDog Team, BigDog, the Rough-Terrain Quadruped Robot, Proceedings of the 17th World Congress, pp.10822-10825, 2008.
[53] Autodeskウェブページ　http://www.autodesk.co.jp/
[54] Stratasysウェブページ　http://www.stratasys.com/
[55] I nMoovウェブページ　http://inmoov.blogspot.be/
[56] eosウェブページ　http://www.eos.info/
[57] 前川製作所ウェブページ　http://www.mayekawa.co.jp/

1.4. ロボットの事例

各分野における代表的かつ先端的なロボットの事例を紹介する。

1.4.1. ロボットスーツHAL

分類：サービスロボット・介護福祉分野

（1）概要

名称　ロボットスーツ HAL
　　　(Hybrid Assistive Limb)
開発　サイバーダイン株式会社
目的　体に装着することで、身体機能を補助・増幅・拡張する
用途　障がい者への自立動作支援、介護支援、重作業支援、レスキュー活動支援、エンターテインメントなど
機能　皮膚表面の生体電位信号などを読み取り、装着者の筋肉の動きと一体的に関節を動かす
寸法　高さ1.6m（人体装着型）
重量　約15kg（下半身型）、約23kg（全身一体型）

（2）開発の経緯

1991年　基礎研究を開始

1995年　基礎実験装置の製作、表面電位信号の検出

1998年　プロトタイプ　HAL1号機完成

2004年　サイバーダイン（株）を設立。筑波大学初のベンチャー企業

2007年　欧州に「CYBERDYNE EU B.V.」を設立

2008年　HALの量産体制が整う。リース販売は大和ハウス工業（株）が担当

2012年　品質マネジメントシステムの規格ISO13485認証を取得

2013年　欧州で医療機器の認証取得。ロボット治療機器として世界初

（3）利用例

筑波大学附属病院の中で、右半身に麻痺がある患者に実証実験が行われている。HALを使用することで、健常なころとほとんど変わらないペースで歩くことができることが確認された[1]（図1-22）。

（4）外観と主な構成要素

（図1-23）にHALの外観と主な構成要素を示す[2]。生体電位信号から、装着者の意図を読み取り動作する「随意的制御システム」と、データベースから動作を先読みして動作する「自律的制御システム」を備えている。これを実現するために、生体電位センサと床反力センサなどから得られる情報を基に、各関節のモータのトルクを制御する。腰にコントロールPCとバッテリを搭載している。

図1-22　HALの応用例

（出典：NEDO BOOKS. RTスピリッツ）

図1-23　HALの外観と主な構成要素

（出典：Prof. Sankai University of Tsukuba / CYBERDYNE Inc.）

第1章

（5）安全対策

以下の認証を取得している。

- ISO13485（品質マネジメントシステム）
- CEマーク　など

主な安全機能としては、角度リミッタ設定機能、制御リミッタ機能、過電流防止機能、出力抑制機能、故障検知機能などがある。また、外部のコンピュータでリアルタイムにモニタリングできる機能があり、内部状態や異常発生情報等を表示できる。

（6）社会への普及

国内では、「ロボットスーツHAL福祉用」が約170の病院や福祉施設で導入され、約400台が稼働中である。また2013年にドイツで労災保険の適用対象となり、1回あたりの機能改善治療の診療報酬500ユーロの全額が労災保険でカバーされることになった。

コラム 1-1

～ロボットスーツHAL（Hybrid Assistive Limb）の開発について～

人は、生まれて成長し、やがて身体機能が低下していく。人が壮年期から老年期に入る段階で疾患を抱えるとき、テクノロジーが人の身体機能をどのように補助・改善できるかということが重要な課題と考えていた。人の脳神経系、生理系、筋骨格系に着目し、人・機械・情報系が融合複合した新しい技術分野の開拓によって、課題解決に向けての挑戦が始まった。HALの研究開発の黎明期である。

人とテクノロジーによる「テクノ・ピアサポート」というビジョンを描き、未来開拓に向けた挑戦が始まる。Cybernics（サイバニクス:サイバネティクス、メカトロニクス、情報科学を中核として、ロボット工学、脳・神経科学、IT技術、感性・人間工学、生理学、社会科学、倫理学など、人・機械・情報系が融合複合した新領域）という新しい学術領域を創成し、基礎研究が始まった。1991年、「人とロボットの一体化技術」に関する原理を創りあげるところからHALの研究開発は始まる。動作意思を反映した生体電位信号によって動作補助を行うロボットスーツHALを用いると、HALの介在により、HALと人の脳・神経系と筋骨格系の間で人体内外を経てインタラクティブバイオフィードバックが促され、高齢化にともない増加してくる脳・神経・筋系の疾患患者の機能改善・機能獲得・機能再生が促進されるというiBF（Interactive Bio－Feedback）仮説を立てた。当初は、小動物を使いながら原理検証を始め、1994年頃にかけて原理をまとめた。続いて、仮説証明のための、原理検証用のロボットの開発を始めた。微弱なイオン電流による生体電位信号を検出しながらロボットを動作させると、ロボットを動かすモータやコンピュータがノイズ源となったりするなど、解決すべき課題は山積していた。これらを一つ一つ解決することで、独自技術が構築されていった。また、ロボットの形態についても試行錯誤を繰り返し、当初はコンピュータとロボットを太いケーブルで繋いでいたが、1997年以降の３号機の開発では、駆動系と制御系と電源が集約でき、背中に背負って完全に独立した形態で屋外を歩いたり階段を上ったり、実際のフィールドで様々な検証を重ねたりと急速な進化へと繋がっていく。その後、４号機、５号機を経て、モジュール化された分散処理機構を実装したモデルへと更なる進化を遂げた。

2004年の６月にCYBERDYNE株式会社を立ち上げ、同じ頃NEDOからの依頼を受けて、2005年の愛知万博（愛・地球博）に全身型のロボットスーツを出展することになった。そのため、CYBERDYNEの資金調達、人材確保などの本格的な活動は、2006年２月から始まることになった。CYBERDYNEの立ち上げに際し、理念

第1章

を追求するため、日本で初めて無議決権株式によって3.75億円の第三者割当を実現した。また、設立時から世界企業として活躍することを前提に、社名をアルファベットでCYBERDYNE株式会社とし、2008年につくば市研究学園に本社を立ち上げた。日本では、2010年になって、「HAL福祉用」の直レンタルを開始し、2013年現在では、約170の病院・施設で400台を超える「HAL福祉用」が稼働中である。

日本とは異なり、ヨーロッパでは、医療・福祉・介護機器は、基本的に医療機器水準であることが求められ、それらはその要求水準によって、クラス分けされることになる。ヨーロッパ向けに研究開発をしていた「HAL医療用」によってドイツやスウェーデンで臨床データを取得し、臨床評価・非臨床評価を経て、2013年8月5日、世界最大級の認証機関独TUV Rheinland（テュフ ラインランド）社から、「HAL医療用」は世界初のロボット治療機器として医療機器認証を取得した。これにより、医療機器CEマーキング（CE0197）が貼付され、ヨーロッパ全域で、機能改善治療に用いる「HAL医療用」の販売流通が可能となった。さらに、ドイツでは、「HAL医療用」による治療が公的労災保険の適用対象となり、週5回、3ヶ月の合計60回の治療パッケージ（1回あたり約7万円）に対して、総額420万円がこの公的労災保険から支払われる。日本で誕生した革新的ロボット医療機器が、ヨーロッパ全域で医療機器となり、そして、ドイツ全域の病院で公的労災保険によって治療費用が100%カバーされることは快挙であり、新技術による社会実装のモデルケースとして捉えることができる。サイバーダインのドイツ子会社の一つとして、この公的労災保険を直接受けることのできるサイバーダイン・ケア・ロボティクス社を設立し、ドイツ国内の病院連携を超えた新しい仕組みづくりを開始している。

2004年に大学発ベンチャーを立ち上げたときに、多くの人から、経営のプロを入れた方が良いとのアドバイスに従ったが、残念ながら、生まれたばかりのベンチャー企業は、一瞬にして大企業病に感染した。そのため、再度、組織改革を行い、フットワークの軽い躍動感と一体感のある組織へと進化させた。技術の広がりや将来ビジョンを動的にイメージできる者でなければ新産業創出は難しい。Apple、Microsoft、Google、Facebookなど、成長産業分野での会社経営は、経営の専門家ではないチャレンジャーがリードしてきた。今の若い人たちには、やがて訪れる未来の開拓者であるという自負を持って、未来開拓にチャレンジしてほしい。もし、やりたいことが思いつかなければ、夢を持っている人と夢を共有し、一緒に歩むのも一つの方法だろう。

山海 嘉之（筑波大学大学院 システム情報工学研究科 サイバニクス研究センター／CYBERDYNE株式会社）

1.4.2. 掃除用ロボット ロボハイター

分類：サービスロボット・生活分野

(1) 概要

名称　掃除用ロボット　ロボハイター

開発　富士重工業株式会社

目的　ビルを含む屋内外の清掃

機能　屋内外を自動的に清掃する。人がいる環境でも作業可能であり、ビルではエレベータによる昇降も行う。清掃能力は最大3,600㎡/hである。

寸法　長さ1.60m × 幅1.08m × 高さ1.22m

重量　430kg（3時間駆動用バッテリ搭載時）

(2) 開発の経緯

1989年　直進制御、経路計画の研究を開始

1991年　洗浄式ロボット試作機を発表

1992年　JR東日本との共同開発により実用化

1995年　吸引式ロボット開発及び実用化

1997年　ビルの清掃システムを開発
　　　　エレベータ自動昇降システムの開発

2001年　晴海トリトンスクエアにシステムを導入
　　　　その後、六本木ヒルズ森タワーなどで導入

2005年　愛・地球博での成果展示

(3) 利用例

愛・地球博においては、半年間屋外で毎日清掃活動を行った[4]（図1-24）。この間、問題は発生しなかった。

図1-24　愛・地球博での清掃活動の様子（雨天時での清掃活動の例）

（出典：NEDO　http://www.nedo.go.jp/content/100092861.pdf）

（4）外観と主な構成要素

図1-25　ロボハイターの主な構成要素

（出典：NEDO
http://www.nedo.go.jp/content/100092861.pdf）

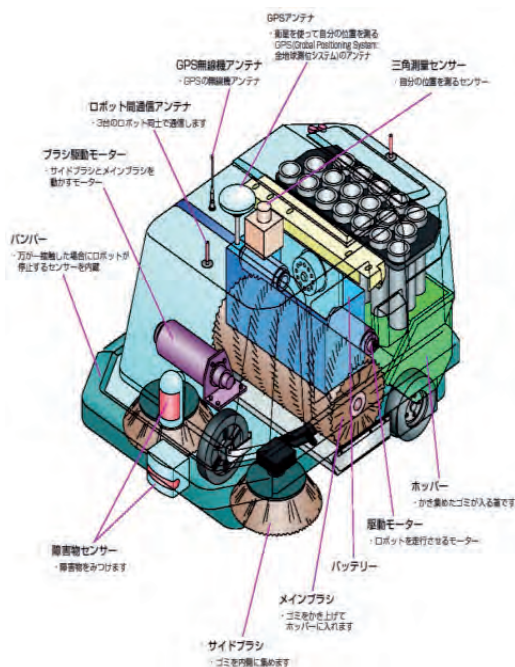
（図1-25）に愛・地球博で半年間運用されたロボハイターRS1を示す。ブラシでホッパーにゴミをかき集めることで掃除を行う。自律移動では自己位置の推定が重要となるが、そのために、車輪の回転角度センサ、GPS、三角測量センサ、ジャイロ、距離センサなど、複数のセンサが使用されている。短時間であれば車輪の回転角度とジャイロから位置を推定できるが、長時間では滑りなどの影響が無視できなくなる。それを補正するのが、絶対位置を検出できるGPSや三角測量センサなどであり、適宜これにより補正することで、長時間精度の高い自己位置推定が行えるようになっている。この位置に対して、予め与えられた軌道に追従するように、ロボットの動きを制御することで、自動制御を実現している。また、障害物センサにより障害物を検知して、回避する機能も有している。搭載したバッテリにより3時間以上の稼動が可能で、約15度の登坂能力を有する。

さらに、ビル清掃用のロボハイターには、エレベータを操作する機能も搭載されている。ロボットとエレベータ設備に設置された光伝送装置の通信により、人がエレベータを操作するように、エレベータを呼び出し、所定の階に移動することが可能となっている。

（5）安全対策

障害物センサや衝撃センサで、衝突した際に瞬時に停止するようになっている。設計段階から、人と共存する場合のリスクアセスメントを行い、さらに安全設計に関しては、「次世代ロボット安全性確保ガイドライン」に従っている。3歳児ダミー人形との衝突試験を行い、機能安全性の実証確認を行っている。さらに、サービスロボットとしてのISO9001を取得している。

（6）社会への普及

JR東日本、晴海トリトンスクエア、六本木ヒルズ森タワーなどに導入されている。

1.4.3. セラピーロボット パロ

分類：サービスロボット・介護福祉分野

（1）概要

名称　セラピーロボット　パロ

開発　産業技術総合研究所

目的　人を楽しませ、安らぎを与える

用途　福祉施設や医療施設でのセラピー、ペットを飼えない場合の代替

機能　人の五感を刺激する感情表現や動物らしい行動により、人を和ませ、心を癒す

体長　57cm

体重　2.5kg

（2）開発の経緯

1993年　パロの研究・開発を開始

1997年　パロの原型となるロボットが完成

2000年　第5世代のパロを開発

筑波大学附属病院などで検証実験

心理的、生理的、社会的効果を確認

被験者は国内外7カ国、2,000名以上

2002年　第6世代のパロを開発

静穏型知的アクチュエータを開発

ギネス世界記録に認定

「世界でもっともセラピー効果があるロボット」

2004年　第8世代のパロを開発

長期使用に耐えられるように改良

産総研発ベンチャー「知能システム」を設立[5]、リース販売を開始

2005年　愛・地球博で展示、販売開始

2009年　米国FDAで医療機器として承認

2012年　ドイツニーダーザクセン州において、パロを用いた訪問介護サービスが保険適用

2013年　第9世代のパロを開発

（3）利用例

介護老人保健施設「豊浦」（茨城県つくば市）において、2003年からパロによるロボット・セラピーを行っている（図1-26）。心理的効果、生理的効果、社会的効果があることが確認された。

図1-26　介護老人保健施設での利用の様子

（出典：産業技術総合研究所
https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2004/pr20040917_2/pr20040917_2.html）

（4）外観と主な構成要素

愛らしい動きを実現するために、静穏型アクチュエータを用いて、まぶた2つ、上体の上下・左右、前足2つ、後ろ足1つの7関節を動かす。センサとしては、新たに開発された、やわらかさをもつユビキタス面触覚センサを始め、ひげセンサ、ステレオ光センサ、マイクロフォン（音声認識、3D音源方位同定）、温度センサ（体温制御）、姿勢センサが搭載されている。また、おしゃぶり型の充電器により充電し、バッテリで5時間動作する（図1-27）。

図1-27　セラピーロボット パロ

（出典：産業技術総合研究所
https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2004/pr20040917_2/pr20040917_2.html）

様々な刺激に対する反応、朝・昼・夜のリズム、気分にあたる内部状態の3つの要素から、生き物らしい行動を生成する。なでられると気持ちが良いという価値観から、なでられた行動が出やすくなるように学習し、飼い主の好みに近づいていく。名前で呼びかけると学習して反応し始める。

なお、パロの工房では、一体ずつ組立から人工羽毛のトリミングまで職人の手で製作されている[6]。

（5）安全対策

主な対策として、ペースメーカの使用者にも安全なように電磁シールドを施している。2万ボルトの耐電圧試験、落下試験、10万回を超える撫で実験を行った。

米国FDAで医療機器として承認されている。

（6）社会への普及

2014年の時点で、国内約3,000体が販売された。約60%が個人名義、約30%が医療福祉施設名義で利用されている。海外には約800体のパロが販売され利用されている。デンマークでは、国家プロジェクトでパロを評価して、高齢者向けの施設等への導入を行っている[7]。すでに70%を超える自治体で導入された。さらに、欧州全域へ展開するために、パロを利用するための人材育成プログラム、ライセンス、施設でのパロの導入の流れ、を一連のパッケージとして提供することを始めている。

1.4.4.　災害対応ロボット Quince

分類：フィールドロボット・災害対応分野

（1）概要

名称　災害対応ロボット　Quince[8]
開発　千葉工業大学、東北大学、NEDO等
目的　災害時に消防隊員などに代わって現状調査する
用途　被災した有害物質を取り扱う工場の状況調査、化学プラントの化学物質漏洩、爆発事故調査、テロの調査など
機能　踏破性の高い移動機構にカメラなどのセンサを搭載して、遠隔操作により状況を確認する
寸法　全長665mm × 全幅480mm × 高さ225mm
重量　26.4kg

（2）開発の経緯

2006年　NEDO「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」（被災建造物内移動RTシステム）による開発を開始
2010年　Quinceを開発
　　　　千葉市消防局で消防資機材として試験運用[10]
2011年　福島第一原発にQuince 1号機を投入[9]
2012年　Quince 2、3号機を投入
2012年　NEDO「災害対応無人化システム研究開発プロジェクト」による開発開始
2013年　Sakura, Tsubakiを開発

（3）利用例

福島第一原発の調査（図1-28）のために利用されている。

■Quinceの活動記録

2012/02/27　2号機5階 西側フロア調査, ダストサンプリング

2012/03/21　2号機1階 中性子モニター室（TIP室）調査, ダストサンプリング

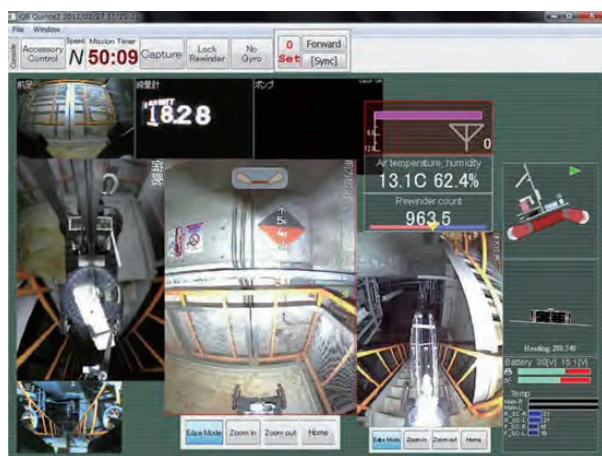
2012/05/24　3号機1階 TIP室調査

2012/06/13　2号機3,4,5階 PCV上部線量調査等

2012/07/04　1号機1階 TIP室調査, 南エリア調査

2012/11/27　3号機1階 PCV
ガス管理システム調査

2013/04/16　2号機1階 MSIV室調査

図1-28　福島第一原発調査の様子

（出典：東京電力より）

（4）外観と主な構成要素

Quince（図1-29）は様々な災害に対応するために、踏破性の高い台車に災害に応じた機器を搭載できるようになっている。主な構成要素は以下の通り。

■標準装備

モータ　6個（フリッパ4個、走行左右2個）

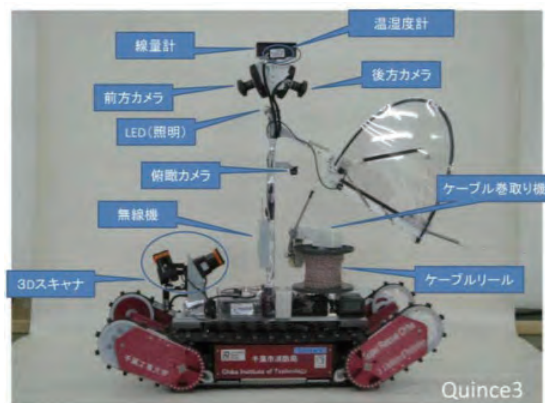
センサ　3chカメラ（前後、俯瞰）、マイクロフォン・スピーカ、PSDセンサ

■オプション

パン・チルト・ズームカメラ、6DOFマニピュレータ、赤外線サーモグラフィ、CO_2センサ、3Dレーザレンジファインダ

さらに、原発対応として、Quince 2号機にはダストサンプラを取り付けている。有線でも通信できるようになっており、安定した無線通信が困難な原子炉建屋内でも、自動巻き取りのケーブルリールにより最長5,400mの距離からロボットを操作できる。障害物踏破にはフリッパアームを使用するが、半自律で段差に合わせて動くようになっている。

図1-29　Quinceの主な構成要素

（出典：千葉工業大学　http://www.furo.org/ja/robot/quince/120130.html）

（5）社会への普及

東日本大震災が発生する前年から、Quinceの実用化に向けて、千葉市消防局で消防資機材として半年間試験運用されている。この中で、問題を改善してきたことが、原発の対応において、スムーズに運用できたことにつながっている。ただし、長期運用してきた消防隊員と原発作業員では、遠隔操作のスキルが異なるため、インターフェイスとマニュアルは原発対応用に作り直している。現在はQuinceの次のモデルである櫻壱號及び櫻弐號を開発している。より長時間運用でき、重量物の運搬や作業用アームの搭載などが可能となっている。なお、櫻弐號は千葉工業大学からライセンシングを受けて三菱重工が生産・販売する計画となっている。

1.4.5.　ロボットカー Google Car

分類：サービスロボット・移動分野

（1）概要

名称　Google Car
開発　Google、スタンフォード大学
目的　交通事故を防止して人々の自由時間を増やす
用途　自動車の自動運転、配送の無人化
機能　カメラとレーザレンジセンサで周囲を認識して、自動的に目的地まで走行する
寸法、重量　搭載する自動車に従う

（2）開発の経緯

2007年　スタンフォード大と共同で開発開始
2010年　自動運転自動車を発表
　　　　この時点で22万キロを超える実験走行

2012年

3月　ネバダ州の公道で走行できる法律を施行
　　この時点で32万キロを超える実験走行
5月　ナンバープレートを交付（通常とは異なる色）
9月　カリフォルニア州でも法律を施行
　　この時点で48万キロを超える実験走行
　　5年以内に一般の人が利用できるようになるとの見通しを発表[15]

（3）利用例

Google Car（図1-30）の最初の利用者として、スティーブ・マハン氏があげられる。マハン氏は、視覚障害があるため、普通のクルマを運転することはできない。Googleが公開している動画では、ファストフードで買い物をしたり、クリーニング店に行ったりする様子が見られる[11]。自動運転自動車により、生活の範囲を大幅に広げることができることを示している。

図1-30　Googleカーの運転の様子

（出典：Google社　HPより）

（4）構成要素

一般的な自動車に、センサとコンピュータを搭載することで、自動運転を実現している。センサとしてはレーザレンジセンサとテレビカメラ、衝突を防止するセンサが使用されている。データは毎秒750MBにもなるが、これを処理することで（図1-31）のように周囲環境を認識する[17]。自動運転の重要な要素に自己位置の推定があるが、これに関しては、所有する「ストリートビュー」で蓄積したデータと照らし合わせており、ここでGoogleの強みが発揮される。さらに、自動運転するための軌道を生成して、それを追従するようにハンドルとアクセル・ブレーキを制御している。赤信号で停止したり、障害物があれば、それを避けたりできる。これらのシステムの中で、Googleが提供するのは核となるソフトウェアの部分であり、自動車の製造は考えていない。これは、現在のAndroidスマートフォンと同じ構図である。なお、

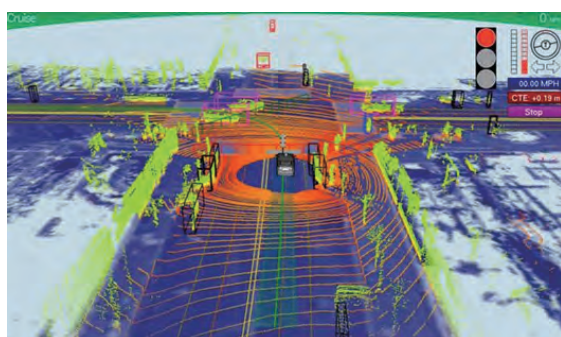



図1-31　センサによる周囲の認識の様子

（出典：Google社　HPより）

Googleは2011年にロボット用のOSであるROSの開発を手がけるWillow Garageと提携しており、さらなる展開を模索していると思われる。

(5) 関連する法律と安全性

ネバダ州とカルフォルニア州で、自動運転自動車が公道を走ることを認める法律を施行している[13]。ただし、ネバダ州の法律では、2人以上が車に乗り込むことを条件に免許を交付している。また、カルフォルニア州では、州当局が2015年までに安全などに関する規制を定めることを計画している。また、2013年9月現在、自動走行における事故は発生していない。

(6) 社会への普及と現状

自動運転自動車の流れは着々と進みつつあり、日産は2020年までに、地図情報に頼らず、センサだけで走行できる完全自律型の自動車を目指すと発表した[16]。また、トヨタも実験車両をミシガン州の公道で走行させている。ただし、自動運転自動車は車らしさの喪失となり[12]、車離れに拍車をかけるおそれがあるとの指摘もあり、難しい問題をはらんでいる[14]。

日本でも、有識者や自動車メーカの担当者で構成する「オートパイロットシステムに関する検討会」が設置され、自動運転に関しての本格的な検討が始まっている。

1.4.6. 病院まるごとロボット化

サービスロボット・医療分野

(1) 概要

名称　注射薬払出ロボット、ロボティックベッド、HOSPIなどによる「病院まるごとロボット化」
開発　パナソニック株式会社
目的　病院内の作業負荷の軽減及び危険作業からの開放
特徴　ロボット単体の販売ではなく、院内の業務分析やコンサルティング、システムソリューションの提案、ロボット及びインフラの導入を行う

(2) 開発の経緯

2008年　松下記念病院と調剤業務のカイゼン活動
2009年　注射薬払出ロボットの発表と実証実験
　　　　ロボティックベッドの発表
　　　　オープンラボによる「見える化」開始
2010年　薬剤搬送の自動化にむけHOSPIを導入
2012年　オープンラボに650名以上の来訪
　　　　30病院以上をコンサルティング
　　　　ヘルスケア社にロボット事業部を設立

（3）利用例

「第5回ロボット大賞」を受賞したパナソニックと松下記念病院による「生活支援ロボットソリューション事業」（図1-32）。ロボットを使ったソリューションの提案と、コンサルティングというビジネスモデルが評価された。例えば、薬剤部の業務においては、調剤の時間を減らし、服薬指導の時間を増やすことができれば、収入増を見込める。コンサルティングではこのような観点も含めて改善案を提示して、具体策を実施していく。松下記念病院では、注射薬払出ロボットシステム1台、病院内自律搬送ロボット「HOSPI」4台、自己位置推定などのためのLED可視光通信システムを導入している。これにより、年間約3,000万円の経費軽減、10％以上の工数削減を達成している。

図1-32　松下記念病院での運用例

（出典：パナソニック
http://panasonic.co.jp/ism/robot/robot02.html）

（4）構成要素

「病院まるごとロボット化」（図1-33）は、ユーザ主導型イノベーションによるロボット事業であり、これによりコンサル手法の確立や現場診断ツールの構築を含むトータルソリューションの体系化を図っている[19]。コンサルティングにおける課題分析には、FA分野で培ってきた現場診断ツール「NEXTセル」を用いている。これにより課題や無駄を「見える化」している。まるごと病院を支えるロボットとしては、薬剤関連ロボット群、自律搬送ロボット[20]、ヘッドケアロボット、ロボティックベッドがある。例えば、注射薬払出ロボットでは[18]、中規模病院を対象としたスリムシリーズで、最大210種類の薬品を高速に払い出すことができる。また、FAで培った技術を応用して、薬品破損率5万分の1以下で払い出せるようにしている[21]。

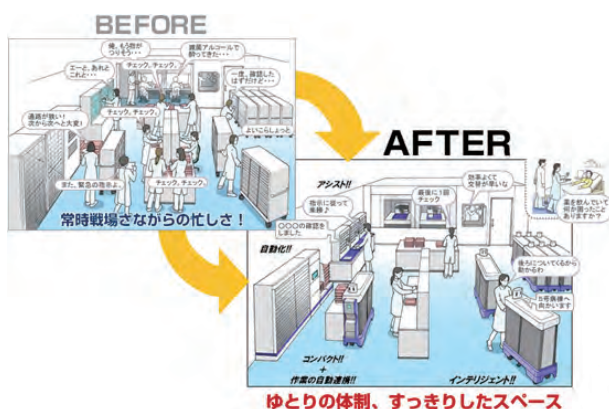



図1-33　病院まるごとロボット化

（出典：パナソニック
http://panasonic.co.jp/ism/robot/robot02.html）

（5）関連する法律と安全性

NEDO「生活支援ロボット実用化プロジェクト」を通じて、生活支援ロボットの国内安全基準の策定活動を行っている。また、現在策定中のパーソナルケア・ロボットの国際安全規格（ISO13482）への提案活動を積極的に進めている。

（6）社会への普及

パナソニック・後藤らは、生活支援ロボットは成長する市場として期待されているが、現時点で市場に受け入れられている商品は多くないと述べている。その原因として、以下をあげている。

１）商品として成り立つアプリケーションを見出すのが困難

２）安全、機能面に関する技術力の不足

これを解決するため、コンサルティングを含むトータルソリューションを提供することを目指している[22]。

現在、リードカスタマである松下記念病院を皮切りに、30以上の病院をコンサルティングしている。必ずしもロボット化が解決策にならないようであるが、これにより潜在ニーズを顕在化することができている。このステップを踏むことで、埼玉医科大学、淀川キリスト教病院などにシステムを導入している。

参考文献

[1]　RTスピリッツ NEDO BOOKS, 2009.

[2]　サイバーダインウェブページ　http://www.cyberdyne.jp/

[3]　「人間支援型ロボット実用化基盤技術開発」事後評価報告書
http://www.nedo.go.jp/content/100096683.pdf

[4]　「次世代ロボット実用化プロジェクト」　第１回事後評価分科会説明資料, 2007.
http://www.nedo.go.jp/content/100092861.pdf

[5]　知能システムウェブページ　http://intelligent-system.jp/

[6]　大和ハウスウェブページ　https://www.daiwahouse.co.jp/robot/paro/index.html

[7]　柴田崇徳，“セラピー用ロボット・パロの研究開発と国内外の動向”，第１回「アザラシ型ロボット・パロによるロボット・セラピー研究会」, 2012.

[8]　千葉工業大学fuRoのウェブページ　http://www.furo.org/

[9]　“国産ロボットQuince,原発事故対応に投入か IRSが発表”，日本経済新聞，2011年4月26日.

[10]“災害対応ロボットQuinceの開発と課題”，工業教育資料（340）, 8-13, 2011-11-00, 実教出版, 2011.

[11]“Self-Driving Car Test: Steve Mahan”, YouTube
http://www.youtube.com/watch?v=cdgQpa1pUUE

[12]“「グーグルカー」は本当に必要ですか？安全技術の先にあるクルマらしさの喪失“，日経ビジネス，記者の目，2013年1月28日.

[13]“グーグル「夢の無人自動車」が公道デビュー！”，Newsweek，2012年5月10日.

[14] “「自動運転」は破壊者か　攻めるグーグル、悩むトヨタ”，日本経済新聞，2013年3月28日．
[15] “米グーグル創業者「自動運転車5年以内に実用化」”，日本経済新聞，2012年9月26日．
[16] “自動運転カー、開発競う…日産「20年発売」へ”，読売新聞，2013年8月29日．
[17] “Googleの自動運転システムから見た世界を可視化！”，SEEK DRIVE シークドライブ，2013年5月2日．
[18] パナソニックウェブページ　注射薬払出システム
http://panasonic.biz/healthcare/ampoulepicker/
[19] “PART2　解説！「病院まるごと」ソリューションビジネス　—"パナソニック流"ロボットのサービス実装”，ロボナブル，日刊工業新聞社，2013年1月8日．
[20] 後藤孝周，川野肇，松川善彦，岡本球夫，“自律移動ロボットの安全な移動技術の開発”，パナソニック技術ジャーナル，Vol.56, No.3, pp.21-25, 2010.
[21] 西村巧，“注射薬払出ロボットの薄型化及び薬剤破損防止機構の開発”，パナソニック技術ジャーナル，Vol.56, No.3, pp.35-37, 2010
[22] 第5回 ロボット大賞ウェブページ.生活支援ロボットソリューション事業の推進
http://www.robotaward.jp/apply/robot01.pdf

第1章執筆者

ワーキングメンバー本文執筆者

平井　成興　　千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター
水川　真　　芝浦工業大学 工学部 電気電子学群 電気工学科
林原　靖男　　千葉工業大学 工学部 未来ロボティクス学科

コラム執筆者

1-1

山海　嘉之　　筑波大学大学院 システム情報工学研究科 サイバニクス研究センター／CYBERDYNE株式会社

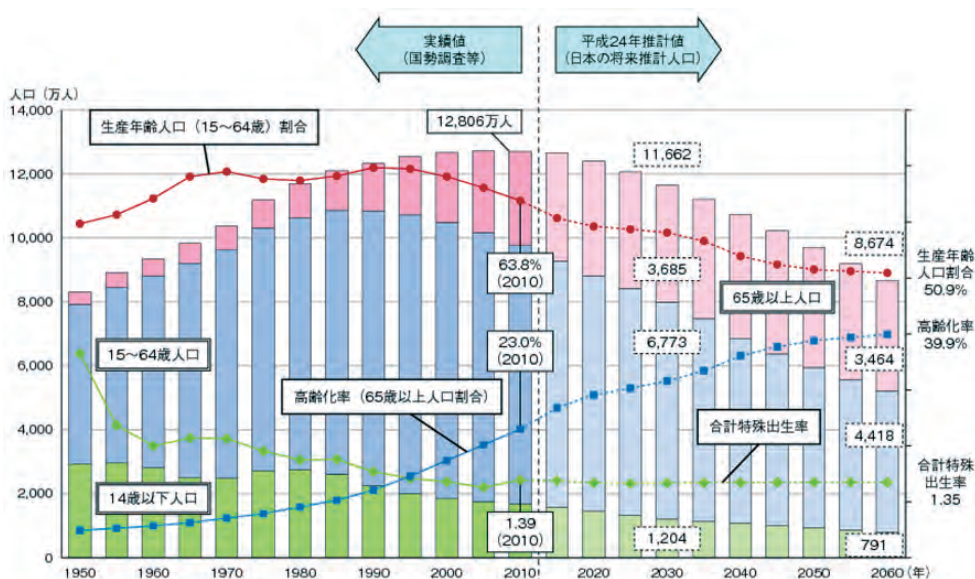
2 ロボット利用の意義・必要性・取りまく環境

2.1. 取りまく環境

ロボットの利用を取りまく環境を、世界的視野、産業、展示会・イベント、ロボット関連所管、地域、学会・講演会、規格・標準化など多様な観点から概説し、最後に研究課題をまとめる。とくに、ロボットは世界的に少子高齢社会対応、環境問題、災害対応への期待が高く、普及の戦略も考えた取り組みが必要とされている。

2.1.1. 世界的視野で見た場合のロボット環境

ロボットは工場など製造業用を中心に生産性向上、品質の安定化、また、人が容易に近づけない場所での作業を中心に発展してきた。最近ではクリーナーロボットなど民生用にも100億円以上の市場ができ、医療、福祉、農業などにも利用が広がってきている。手術用ロボットでは世界で1,000台以上が導入され、国内でも厚生労働省の認可を取得しているものもある。とくに、少子高齢社会に向けてロボット技術への期待は高く、実用化が徐々に推進されている。2015年には4人に1人が65歳以上の高齢者となり（図2-1）、ロボットも介護保険の適用の対象になるなど、ロボット技術が社会に広がる機会となる。中でも米国では、クリーナーロボット（Roomba）、ロボット倉庫システム（KIVA systems）、手術支援ロボット（daVinci）、低

図2-1　人口推移図（総務省平成24年版情報通信白書）[1]

価格人共存型ロボット（Baxter）、ロボットOSであるROSの展開などロボット技術の社会への普及に関しては話題が豊富である。

（1）各国の取り組み

各国の取り組みについて以下に紹介する。米国では国防高等研究計画局（DARPA）が2004年に始めたロボットカーのGrand Challengeが有名で、2007年にはロボットカーが自律走行で市街地のコースを完走した。その後、2012年には福島災害などに対応する技術を確立するためにRobotics Challengeとして災害対応ロボットの技術開発が新たに設定された。2013年12月には日本のチームが予選を1位で通過し技術力の高さを示した。また、2011年に製造業の復興促進のために国家ロボティクスイニシアチブとして、国立科学財団（NSF）、国立衛生研究所（NIH）、航空宇宙局（NASA）及び農務省（USDA）の4組織が、次世代ロボット開発の研究費を提供する7,000万ドルの共同提案公募を発表した[2]。

欧州では第6次研究開発枠組み計画（FP6）の中でロボット開発に関わる欧州の研究開発機関を連携して、欧州レベルでの研究資源の効率化や戦略的な研究方向を探るためのネットワーク・プロジェクトEURONにて研究ロードマップが作成された[3]。FP7（2007年～2013年）ではCognitive Systems and RoboticsをICT分野のチャレンジ領域の1つに選定し、知能化技術に関する研究プロジェクトへ年約2億ユーロの投資をした。2014年から2020年までは後継のHorizon2020が始まり、総額800億ユーロが投資される計画である[4]。

韓国ではユビキタスロボットコンパニオンプロジェクト（URC）が終了し、その成果の実用化が進められたが新規市場創出までには至らなかった。その後、知識経済部が中心となり、2013年から10年間のロボット未来戦略を発表した。中国は成長率が鈍くなったとは言え、依然、期待が高く国家中長期科学技術発展規画綱要（2006年～2020年）、先端技術8分野の中で知的ロボットをあげている[5]。

日本は、産業用ロボットの生産額はいまだ世界一であるが、米国、ドイツ、韓国、中国との差は年々小さくなっている。経済産業省が中心となって、2005年の愛・地球博以降、サービスロボットの実用化に継続的な施策を実施している。ロボット用ミドルウェア（RTミドルウェア）はその普及戦略の1つとして、「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」（2006年度～2010年度）、「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」（2007年度～2011年度）などを通して共通プラットフォーム化が進められ、社会への普及を目指した活動が継続している。総合科学技術会議で計画された第4期科学技術基本計画（2011年度～2015年度）の中でもライフイノベーションとしてロボット手術や生活支援ロボットがあげられている。第3期にあげた「家庭や街で生活に役立つロボット中核技術」の継続的なテーマとなっている。

ロボット技術の期待の高い応用先としては、災害対応と福祉・介護があげられる。2011年の福島原発事故以降、試作で終わっていた日本のロボット研究・開発の課題が明白になり、実運用までを確実に実施することや今後の開発方針などへの提言が学会や学術会議、産業競争力懇談会（COCN）などから行われている。このような背景のもと国際廃炉研究開発機構（IRID）

が2013年8月に設立された。他にも海外の技術も結集し廃炉に向けた取り組みが産官学にて実施され、世界的に注目されている。ロボット技術の果たす役割は単なる市場創出だけではなく、世界の環境保全への貢献としても大変大きなものである。一方、介護分野でも、ロボットアームのコストベネフィット評価が行われたが、広く販売されているものは、オランダやカナダ製のロボットアーム（iARM、JACO）などで、日本では先端技術の研究を実施しているものの現実を見ると、実用化されているものが少ないのが現状である。さらに、デンマークなど海外から日本のロボットへの技術協力が盛んに行われ、実証や実用化では先を越されそうな状況である。国の施策としては、これまで以上に連携と継続が期待される。原子力分野では実際の環境で利用されるものは少なかったが、宇宙開発では実際の環境で使用する。このため、打上げ、システムの冗長化、コンティンジェンシーといった実用上の課題が、耐環境部品の開発からシスティマティックに実施されている。

このように社会への普及の観点からみると、ロボットの発表はほとんどが米国からである。また、EUでは堅実にFP7、Horizon2020で研究が実施されている。中国、韓国などのアジアでの追従も激しく、日本の方針・戦略をより明確にしなければならない。

（2）開発環境と教育

ロボット技術を社会貢献のために普及させていくには制度上の課題もあるが、実用化していく風土に課題もある。米国ではベンチャーキャピタルの巨額な投資があり、チャレンジする機会が多く、失敗を恐れずに、次々と新しいものを開発している。サッカーロボットのコンテストであるRoboCupにおいて移動ロボットのチームプレーの研究から、ロボット倉庫システムが開発されたことはよく知られている。日本の高い技術はコア技術として、研究開発を進めさらに高めていくとともに、ビジネスモデルの構築や応用のチャンスも広げていく必要がある。そのためにはロボットの開発環境として、共通のプラットフォームを利用し、早く、安く、実用モデルを開発できる場が必要である。新しいアイデアを取り込んで、新しいロボット技術やビジネスモデルを構築することで、新たな市場を世界に広げていくことができる。ITの分野ではハッカソンと行ったコンテストがあり、その場で新しいビジネスモデルやアプリを開発し、予算を獲得し、実用化してしまうくらいに動きが早い。開発環境が整っているために実現されるものであり、ロボットの分野でも今後は同様な効果が考えられる。2013年になってからGoogleやAmazonと言った企業によるロボットベンチャー企業の買収が話題となっており、IT、物流における新しいビジネスに期待が高まっている。

一方で、社会へのロボット技術の普及を支える意味で教育は大変重要である。早くからもの作りや技術に興味を持つようになり、教育を通して社会で役立つ製品作りに貢献できる。また、ロボットは子供が目の色を変えるほど興味を持つ対象であり、あらゆる技術、もの作りに必要な要素が含まれている。子供は興味を持つほど吸収力が早いので、単純なモデルで創造性を高めながら要素の重要性を学び、最先端のモデルを使って新しい技術もどんどん教えていく必要もある。ロボット教室などで小さい頃から親子でロボットに慣れ親しむことで、社会にロボッ

トのイメージが根付いていくことになる。教材のロボットが同じになると、誰でも一定のロボット技術の能力が身につく。教える技術もまた重要となり、一流の技術や製品開発の経験をもつシニアを生かしたセミナーなどは、今後の日本の技術力向上に大きく貢献するものである。

また、ロボット教育は学校など教育機関に限ったものではなく、地域や企業においても重要である。子供からお年寄りまでが、一緒にロボットセミナーなどに参加することでコミュニケーションが円滑になり、地域の活性化に繋がる。企業においても技術教育にロボットが多く採用されている。さらに、ロボット技術者は全体を見通せ、新しいシステムを開発することも多いことから、各事業所においてもキーパーソンとして求められる。なぜなら企業ではニーズを形にすることや、メカトロ技術を応用することが多く、これらはまさにロボット技術の得意とするところだからである。就職においても企業でロボットを事業としているところは限られるが、メカトロの企業であれば、どこでもロボットができると考えていくと、大きな市場がある。

2.1.2. 産業

産業用ロボットはユニメート（図2-2）が発表されて50年が過ぎたところであり、性能的には飛躍的に向上した。しかし、ハーモニックドライブ減速機やパラレルリンクマニピュレータと言った特徴的なロボット分野の特許が切れたが、これ以降は、機構的には大きな変化はなく、革新的なものは出ていない。現在は低価格、高速化の一方で、人と共存するロボットを実現する方向にある。

双腕型のロボットNEXTAGE（図2-3）は次世代産業用ロボットとして開発され、リスクアセスメントにより、組立作業などにおいて人と協調作業を行える特徴がある。その先進性から第5回ロボット大賞「次世代産業特別賞」を受賞した。業務用清掃ロボットシステムによるビジネスも実現され、国内においてもロボットやロボット技術のビジネスが始まった。システムとして捉える観点は重要で、病院まるごとロボット化など、ロボットばかりでなくシステムとしてのビジネスが特に大手企業には求められている。組立用ロボットや自動車への応用から

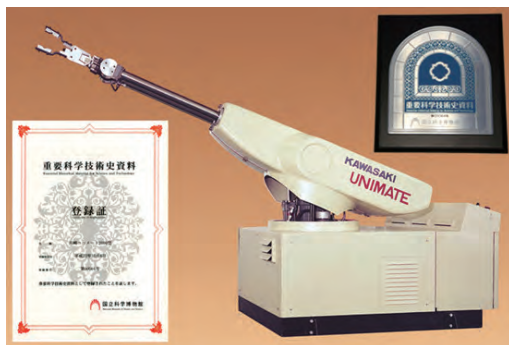
図2-2　産業用ロボットの国産１号機

（出典：Kawasaki-Unimate2000 [6]
http://www.khi.co.jp/robot/news/detail/20101020.html）

図2-3　次世代産業用ロボットNEXTAGE [7]

（画像提供：グローリー株式会社）

始まったロボット産業であるが、食品分野などへロボットを応用する形式と、製品分野の中にロボット技術を応用する形式に分かれ、より広く応用分野が開拓されている。例えば、自動車には、自動車の機能として自動運転や自動駐車、障害物検知と停止動作など移動ロボットと同様な技術が応用されている。技術の融合が進み出しICT、ロボット、自動車が融合することで、より広範囲に市場が拡大されていく。医療の分野も同様で、血管検査装置では検出器を複雑に動かすようになり、多自由度化が進んで来たことから、多関節ロボットの制御技術や検査用のベッド自身をロボットアームで位置決めするようになってきた。安全性を重視している日本の大手企業ではダビンチ、ガンマカメラ、ロボドックのような治療機器よりは、診断機器にロボット技術を取り入れていく方が受け入れやすい。とくに、シーメンスのような電機大手が産業用ロボットメーカと組み、診断システムを開発したことは日本の大手企業に大変参考になっている。このようにロボットの応用が進むと、応用毎に規格や標準があり、その中で安全性をどう確保するかが大きな課題となる。そのために、サービスロボットの安全確保のためのガイドラインの策定が平成20年度に検討された[8]。

2.1.3. 展示会・イベント

大きなロボットの展示会としては国際ロボット展iREX（東京）とAUTOMATICA（ミュンヘン）が1年おきに開催されている。国際ロボット展は4日間で約10万人が来場する世界最大のロボットの展示会であり、2005年の愛・地球博以降、サービスロボットの分野が拡大している傾向にある。AUTOMATICAは世界最大の産業見本市ハノーバーメッセから2004年にオートメーション・ロボットの分野が独立した見本市であり、約3万人規模（4日間）でミュンヘンにて開催されており、対象は自動車、食品応用などがメインとなっている。EU市場、とくにドイツでの市場拡大から、新しいロボットの発表の場をAUTOMATICAとする企業が増えている。

また、モーターショーや世界最大のエレクトロニクスショー（CES）、アジア最大級の最先端IT・エレクトロニクス総合展（CEATEC）でも自動運転技術を搭載したロボットカーが展示された。この他にもロボット技術を利用した展示会は増えている。来場者10万人規模の国際食品工業展（FOOMA）、3日間で2万人規模の病院・福祉設備機器の展示会（HOSPEX）、12万人規模の国際福祉機器展（H.C.R.）、15万人規模の医療機器開発・製造展（MEDIX）などでのロボットの展示は、ロボット技術が他の製品分野にも広く展開されていることを示している。

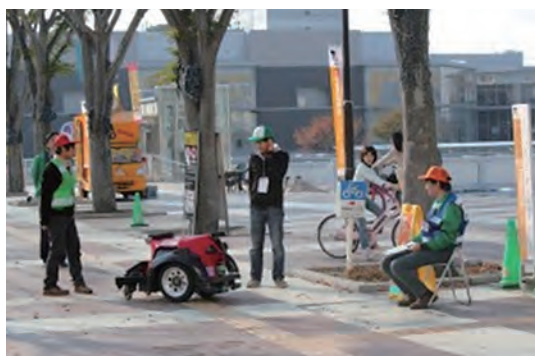
イベント・コンテストとしては、RoboCupやロボットコンテスト、いわゆるロボコンがある。NHKが主催しているロボコンは20年以上の歴史があり、高専ロボコン、大学ロボコン、ABUアジア・太平洋ロボットコンテスト（ABUロボコン）とあり、映画にもなるほどのブームになった。大学ロボコンはABUロボコンの選考会を兼ね、予選会を通して全国的に展開しており[9]、アイデアなど創造性ともの作りに大きく貢献している。この他にも各地で、ロボットコンテストやロボットセミナーが開催されている。こういった活動は日本の技術力の底上げに寄与するところが大きい。

RoboCupは1992年にロボット工学と人工知能の融合、発展のために自律移動ロボットによるサッカーを題材として日本の研究者らによって提唱された。2050年「サッカーの世界チャンピオンチームに勝てる、自律型ロボットのチームを作る」という夢に向かって人工知能やロボット工学などの研究を推進し、様々な分野の基礎技術として波及させることを目的としたランドマーク・プロジェクトである。この成果は学会で公開されるために、さらなる技術の向上に役立っている。現在では、サッカーだけでなく、大規模災害へのロボットの応用としてロボカップレスキュー、次世代の技術の担い手を育てるロボカップジュニアなどが組織されている。さらに、RoboCup@Homeではキッチンや、リビングルームといった日常生活の場所で、ロボットがいかに役に立ち、人間とともに暮らしていけるのか、という可能性を探る競技も2008年より始まっている [10]。2012年にはRoboCup@Workも新設された。これらはロボットを実生活や社会で利用する段階に来ていることを示すものでもある。

また、2002年に始まったROBO-ONEはロボットの楽しさをより多くの人に広めることを目的とした2足歩行ロボットによる競技大会である。2足歩行が一般の人でも実現できるようになり、全身を使ったアクロバティックな動作も実現できるようになった。これにともない、使用されているラジコン用サーボなどの部品も性能が向上し、さらに高度な動作が実現されるようになり、コミュニティが形成されるなど良い循環が生まれている。

2007年から人とロボットが共生する社会を目指して、つくば市などが協力し、つくばチャレンジ（Real World Robot Challenge, 図2-4）が開始された。これはつくば市内の遊歩道や公園をロボットの走行環境とした移動ロボット自律走行の公開チャレンジで、実世界で働く自律移動ロボットの技術の進歩を目的としている。2013年からは第2ステージとしてさらに高度な目標に向かって実施されている。

図2-4　つくばチャレンジ2013より [11]

他にもコンテストは多数あるが、ロボットはいろいろな年齢層やコミュニティに受け入れられていることから、日本にはロボットの技術を皆が楽しめるような風土があるといえるだろう。

2.1.4.　ロボット関連所管

産業応用では経済産業省が中心となってロボット施策を推進しており、科学技術研究・教育では文部科学省、通信・インフラでは総務省など各府省庁で関連するロボット技術の研究や施策が行われている。また、各省はそれぞれ研究部門、実証部門などがあり、経済産業省では産業技術総合研究所（AIST）、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、総務省では情報通信研究機構（NICT）、文部科学省では科学技術振興機構（JST）、国土交通省では港湾空港技術研究所、土木研究所、農林水産省では農業・食品産業技術総合研究機構、厚生労働省で

は国立長寿医療研究センター、国立障害者リハビリテーションセンターなどがある。とくに、分野の明確な宇宙開発は宇宙航空研究開発機構（JAXA）、原子力開発は日本原子力研究開発機構（JAEA）、海洋開発は海洋研究開発機構（JAMSTEC）が研究開発を担当し、文部科学省の所管となっている。府省庁間の連携は2005年に内閣府に設置された科学技術連携施策群の活動（2005年度〜2009年度）もあり、経済産業省と総務省や厚生労働省など、技術開発機関（シーズ側）と出口機関（ニーズ側）をもつ省庁間連携が、より行われるようになった。また、ロボット共通技術の共有化の議論も次世代ロボット共通プラットフォーム技術として行われた。また、福祉・医療系では学際的な活動が必要で、国立障害者リハビリテーションセンターが中心となり、2010年からユーザと開発者、福祉機器に関心のある人が集まり、福祉工学カフェが開かれている。ここでは身近なニーズから福祉機器開発のあるべき姿まで、実用性の高い福祉機器開発に向けて議論が行われている。学会間連携としては医工連携推進のための組織、日本医工ものつくりコモンズが2009年に設立されて活発な活動が行われている。

他に経産省事業を支援する外郭団体として日本ロボット工業会（JARA）と製造科学技術センター（MSTC）がある。JARAはロボット及びそのシステム製品に関する研究開発の推進及び利用技術の普及促進とロボット製造業の振興を図るとともに、広く産業の高度化及び社会福祉の向上を目的とした業界団体である。1971年に産業用ロボット懇談会として発足し、1972年に日本産業用ロボット工業会、1994年に日本ロボット工業会へと発展改組された。

また、平成18年にはロボットビジネスをさらに推進するためにロボットビジネス推進協議会がJARA内に設置された。この協議会は、産業・研究分野の壁を越えて、事業者・研究者・技術者・政策決定者の連携と相互理解を強め、実社会で活躍するRT（ロボットテクノロジー）の開発と、これを活用したソリューションビジネスの開拓を促進することにより、RT開発の成果を社会に還元し、以って、豊かな生活とよりよい社会を実現することを目的としている[12]。この実現に向け、RTに関わる起業やビジネスチャンスを拡げるための共通基盤（ロボットが活動する環境での安全、エレベータ、通信等の共通規格、ロボットに関わる保険、RTミドルウェア等）を産学官連携のもとで検討を行い、整備を進めている。また、ビジネスマッチングの場を全国的に展開し、情報交流を行うことでRT産業の創成を促すとともに、効果的なRT産業政策を関連機関に提言するものであり、安全・規格、ビジネス創出の部会で議論が進んでいる。

製造科学技術センター（MSTC）はロボット、ファクトリー・オートメーション（FA）及びその他製造科学技術に関する基盤技術の研究開発並びに国際共同研究の推進等を図ることにより、ロボット、FA及びその他製造科学技術の発展並びに国際的なロボット、FA技術及びその他製造科学技術のフロンティアの拡大を目的に活動を行っている団体である。NEDOの人間協調・共存型ロボットシステムや原子力防災支援システムの事業も推進された。

さらに情報誌としては、1998年にロボット総合情報誌としてロボコンマガジンが創刊され、2009年から日刊工業新聞社のロボナブル[13]がweb上で公開されるなど、専門家でなくても情報を容易にわかりやすく入手できるようになっている。

2.1.5. 地域におけるロボット開発

地域での産業振興を目指したロボット研究開発も盛んに行われている。福岡県では九州大学が中心でロボットタウンなど、大阪府では大阪大学、NICT、国際電気通信基礎技術研究所（ATR）が中心となりビジネス化を推進している。茨城県では産総研、筑波大が中心となってロボット特区、神奈川県ではさがみロボット産業特区にて生活支援ロボットの実用化への取り組みが行われるようになった。自治体と大学、企業が一体となり、地域の課題などを解決するものである。

科学技術連携施策群の共通プラットフォームのプロジェクトでは福岡ロボットタウン、神奈川ロボットパーク、大阪に環境プラットフォームが設置された。プロジェクト終了後、活動は低減したが、ユニバーサル・シティウォーク大阪（UCW）で実証された関西環境プラットフォームでは、センサシステムが実用化されたことから、場所を変えながら実証研究が続いている。これらのプラットフォームでは利用のためのソフトウェアも公開されている。また、これに協力する協議会やロボットフォーラム等の影響も大きく、地域での活動をより活性化していくことが重要である。以下に代表的な地域での協議会などをあげる。

九州では先端成長産業創出のために産学官からなるロボット産業振興会議（福岡県、北九州市、福岡市）を平成15年に設立し、活発に活動している[14]。

神奈川県では、かわさき・神奈川ロボットビジネス協議会が平成18年に設立され、平成25年にはさがみロボット産業特区が認定された。さがみ縦貫道路の全線開通を機に県内経済の活性化を図るため、この沿線地域等を対象として、生活支援ロボットを中心に実証実験を行っていく計画である[15]。

茨城県では平成23年に、ロボット特区実証実験推進協議会、モビリティロボット実験特区に認定された[16]。

モビリティロボット実験特区や実環境におけるロボットの実証実験を推進し、生活支援分野など人にやさしい次世代ロボット関連産業を育成するため、産学官の連携体制のもとに設立された。

大阪府では、ロボットラボラトリー、次世代ロボット開発ネットワーク（RooBO）、ネットワークロボットフォーラム（NRF）[17]が設立された。とくに、平成15年に設立されたNRFでは日本のフラッグシップ・テクノロジーであるユビキタスネットワークとロボットが融合する「ネットワークロボット」の実現により、新たなライフスタイルの創出、高齢化・医療介護問題等の様々な社会的問題への対応だけではなく、21世紀の日本発・新IT社会の構築にも貢献することが期待されている。さらに、平成25年に大阪市は新事業創出の拠点としてイノベーションハブを開設した。

このところ特区など地域での活動が活性化しており、平成25年からは文部科学省が、課題解決に資する様々な人材や情報・技術が集まる地域コミュニティの中核的存在としての大学の機能強化を図ることを目的に、地（知）の拠点整備事業（大学COC事業）を実施している。

この他、モノづくり日本会議は平成23年に、多摩ソーシャルロボットテクノロジー研究会を開催した。東京・多摩地域で生活支援ロボットを活用した新たな社会サービスの実現を目指すものである。平成14年に特定非営利活動法人として内閣府より認証を受けた国際レスキューシステム研究機構は、産学官民の知識を結集し、大規模災害から人を救い出すレスキューシステムを構築することをミッション[18]に活動を進めている。

このようにいろいろな活動が行われているが、これらを体系化し、支え強化するような施策やしくみが必要である。

2.1.6. 学会・講演会

ロボット研究・開発の発表の場としては、日本ロボット学会（RSJ）、日本機械学会（JSME）ロボティクス・メカトロニクス部門、計測自動制御学会（SICE）システムインテグレーション部門を中心に各学会学術講演会で毎年700件以上の講演が活発に行われている。この他にも精密工学会、電気学会、電子情報通信学会などでも研究領域に基づくロボットの研究が行われている。また、ロボティクスシンポジアはロボット学関連の研究に携わる研究者間の学会の垣根を越えた研究・情報 の交流を促し、レベルの高い議論の場を形成することを目的に、1996年から3学会合同で実施されてきた。経産省の技術マップ作成の際には日本ロボット学会、人工知能学会、日本人間工学会の3学会が協力してアカデミックロードマップを作成し、平成19年度に報告書をまとめた。学会間の連携も進み、ロボットカーのテーマに関しては日本ロボット学会と自動車技術会（JSAE）が相互に学術講演会でWSを企画するなど広がりを見せている。福島原発事故の際に立ち上った対災害ロボティクス・タスクフォース（ROBOTAD）も学会などでのネットワークが中心となっている。

学術講演会に企業からの参加は多くはないが、国家プロジェクトの発表やその企画が増えていることから参加している企業も発表の機会が増えている。国際的には電気・電子分野で世界最大の学会である米国電気電子学会IEEE主催のInternational Conference on Robotics and Automation（ICRA）,と日本の研究者が立ち上げたInternational Conference on Intelligent Robots and Systems（IROS）が最大のロボティクスの会議であり、各々1,000件規模の研究発表が行われるなど研究発表は大変活発である。特にアジアではIEEE冠のロボットの会議が急増している。この他にも米国機械学会ASMEや機械工学分野系の国際学術組織IFToMMなどの会議がある。学会に合わせたベンチャー企業展示も増えて来ているが、まだまだ研究から実用化への線は細い。産業界主導では国際ロボット連盟（IFR）主催のInternational Symposium on Robotics（ISR）が1970年から開催され、2013年は第44回のISRが韓国で開催された。最近では産業界よりも学界の方の勢いが強く、産業界への働きかけも重要となってきている。

日中産学官交流機構が主催するロボット研究会では毎年、日中韓にて産学官でのロボット研究者を中心とした交流が2005年より継続している。また、2005年からは日本ロボット工業会と韓国ロボット産業協会（KAR）が中心となって、日韓サービスロボットワークショップも継続している。

アジアロボット学会連合（ARSU）は、アジア地区内の各国のロボット関連学会がお互いに情報や意見を交換し、アジア地区でのロボット研究の促進を図ることを目的に2006年に設立された。現在、メンバー国として韓国、中国、オーストラリア、タイ、シンガポール、ベトナム、日本が加わっている。

横断的で多様な技術者・研究者からなる学会活動は大変重要であり、学会間の連携も進んで来ている。これらの知をどのように蓄え、活用すべきかを考える必要がある

2.1.7. 規格・標準化

経済産業省のRTミドルウェアと総務省のネットワークロボットのプロジェクトの成果により国際標準化を目指した活動を2004年より実施している。これまで、ソフトウェアの国際標準化団体OMG（Object Management Group）において、RT（Robot Technology）を支えるミドルウェアのコンポーネント仕様（RTC; RT Component）や、ロボットが扱う位置・測位情報に関するサービス仕様（RLS; Robotic Localization Service）、ロボットが人とインタラクションを行うための人検出、個人同定、音声認識など、様々なHRI（Human Robot Interaction）機能のサービス仕様（RoIS; Robitic Interaction Service Framework）などが標準として採択され公開されている。OpenRTM-aistは産総研を中心に開発されているミドルウェアであり2005年にVer.0.2が公開された。OMGのRTコンポーネント仕様はこれをベースの一つとして日米が共同で策定し2008年に公開した国際標準であり、産総研はこの標準に準拠した最初の実装として2010年にOpenRTM-aist Ver.1.0.0をリリースした。なお、OMGは1989年に設立された世界最大のソフトウェア標準化団体であり、分散オブジェクトミドルウェアCORBA（Common Object Request Broker Architecture）、ソフトウェアモデリング言語UML（Unified Modeling Language）を始めとして、様々な分野のソフトウェア標準を策定・管理している組織として知られており、上記のRT Component（RTC Ver.1.1）やRobotic Localization Service（RLS Ver.1.1）、Robotic Interaction Service（RoIS）Framework（RoIS Ver.1.0）などは、OMG内のロボティクス作業部会（Robotics-DTF）で議論されている[19],[20]。

標準化は進められて来たが、これだけでは実際の普及にはならない。参加する企業や製品が増えなければ意味がなく、とくに国際標準規格ISOは影響力が大きい。今後はそれを活用する取り組みが必要である。

NEDOが実施する生活支援ロボット実用化プロジェクトの成果を用いて、日本品質保証機構（JQA）は、2013年にCYBERDYNE株式会社（以下、サイバーダイン社）の「ロボットスーツHAL®福祉用」に対して、世界で初めて生活支援ロボットの国際安全規格ISO/DIS 13482に基づく認証を行い、サイバーダイン社に対して認証書を発行した[21]（図2-5、図2-6）。同プロジェクトでは、2009年から、サービスロボットの安全技術及び安全検証手法の開発を進めるとともに、その成果を国際標準につなげる提案活動及び認証手法の開発を行ってきた。この成果を用いて認証が実現したものである。認証のための安全性試験は、同プロジェクトの研究施設である「生活支援ロボット安全検証センター」で実施された。

図2-5　世界初の認証を取得するロボットスーツ

（出典：Prof. Sankai University of Tsukuba / CYBERDYNE Inc.）

図2-6　JQAより発行されるISO/DIS13482認証マーク

ここで、ISO/DIS 13482はパーソナルケアロボットの安全性に関する国際規格原案であり、2014年に国際規格として発行された。ISO／TC184では産業用ロボットとサービスロボットの安全に関する規格であり、TC184は産業オートメーションシステムとインテグレーション、SC2はロボットのセクションである。

一方、米国のベンチャー企業で開発されたロボット用基本ソフトROS（Robot Operating System）は実装されたロボットシステム（PR2）とともに研究用に提供されている。プログラム参加機関は研究成果をオープンロボットコミュニティROS.orgに公開し、相互利用によりパーソナルロボットのアプリケーション開発につなげる計画である。米国で推進されたグランドチャレンジは実用を意識したコンテストであり、ROSとPR2は基本OSとハードウェアをセットにしたプラットフォームとして進んでいる。これらはロボットの普及戦略も考えた取り組みであるといえる。日本のもの作りの技術は高いが、それだけではスマートフォンのようにシステムインテグレーションされて終わってしまう。実際、米国で開発されたサービスロボットにも品質を求める部品には日本製品が使われている。今後は、品質の高い要素技術とともにシステム化、ビジネス化も含めたモデルを日本から出していく戦略が必要である。

2.1.8.　研究課題

ロボット技術で社会に貢献して行くために全般的にいえることは実証までを研究開発できるプラットフォーム、そしてその運用や継続できる開発環境及び体制作りを確立することである。産業用ロボット分野では、教示技術、サービスロボット分野では安全性技術の他、実証まで早くできるようなプラットフォーム、教育分野では、最新技術も取り込んだ教材作りとともに、指導側の体制作りが必要である。以降の節でも紹介するが、ここでは目指すべき方向性を示す。

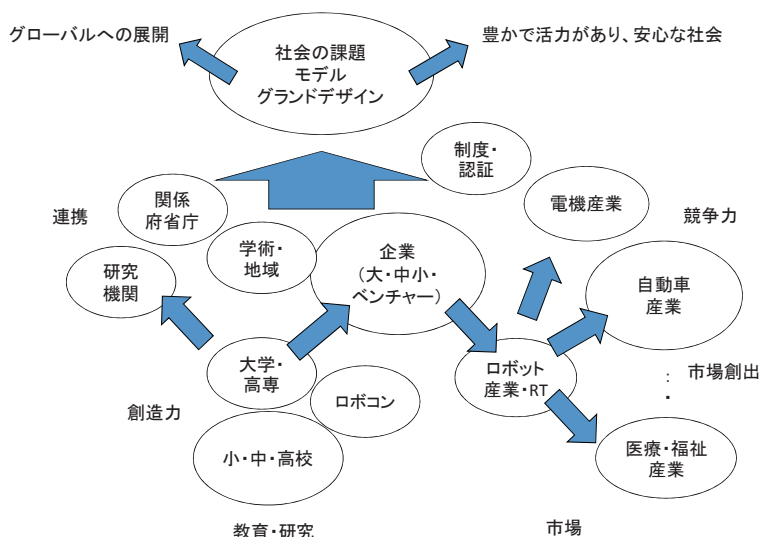
- 超高齢社会に向けて、人や社会の活力を向上するような、情報・アクチュエーションを実現するプラットフォームを確立し、研究・開発から実証までの時間を短縮する。

- サービスの多様化に対応できるように、1つのサービスロボットシステムが複数のサービスに連鎖的提供（再利用・利活用）できるようなプラットフォームを実現する。
- 日本の高い技術はグローバル化に際し差異化技術となるので、今後も維持・向上を継続できるようにする。
- 教育はこれらを支えるものであり、基礎から最先端まで教材の充実と指導体系を強化するとともに、社会にロボットが受け入れられるイメージを浸透させる。
- 規格・標準化活動を国は支援し、プラットフォームに反映し、日本からグローバルに広げて行く。
- 産業用ロボットでは教示レス化やスキルの獲得ばかりでなく、将来的な産業用ロボットのあり方や人との共存にイノベーションが必要となって来る。さらに、新たなグランドチャレンジも必要である。
- 取りまく環境は多様化している。これらを横断的に体系化し、中長期のビジョンを作成し、実証を継続して行く。

最後に、これまで述べてきたロボットに関わる活動を俯瞰する（図2-7）と、広範囲に渡っていることがよくわかる。各年齢層、各分野にロボット技術が広がり、これ程支持されている技術はほかになく、まさに日本の基盤技術といえる。

図2-7　日本のロボット俯瞰図

グローバルへの展開
社会の課題
モデル
グランドデザイン
豊かで活力があり、安心な社会
制度・認証
関係府省庁
連携
電機産業
競争力
学術・地域
企業（大・中小・ベンチャー）
研究機関
自動車産業
大学・高専
ロボット産業・RT
市場創出
ロボコン
創造力
小・中・高校
医療・福祉産業
教育・研究
市場

参考文献

[1]　http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h24/html/nc112120.html
[2]　http://e-public.nttdata.co.jp/topics_detail2_prev/id=643
[3]　http://www.nedo.go.jp/content/100106937.pdf
[4]　http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020

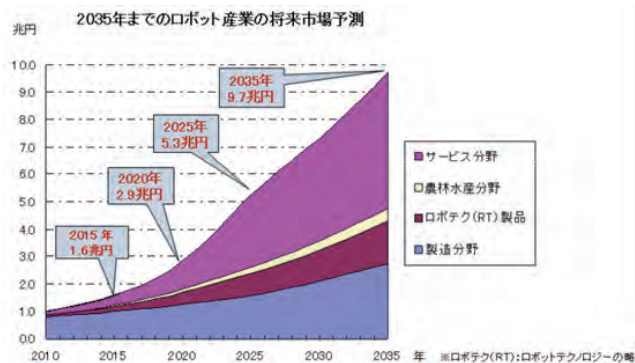
[5] http://www.spc.jst.go.jp/policy/science_policy/chapt3/3_01/3_1_1/3_1_1_1.html
[6] http://www.khi.co.jp/robot/news/detail/20101020.html
[7] http://nextage.kawada.jp/gallery/
[8] http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/pdf/guideline.pdf
[9] http://www.nhk.or.jp/robocon/
[10] http://www.robocup.or.jp/index.html
[11] http://www.tsukubachallenge.jp/record-honsoko
[12] http://www.roboness.jp/h/busikyo05a.html
[13] http://www.robonable.jp/
[14] http://www.f-robot.com/gaiyo/syuisyo.html
[15] http://www.robot-net.jp/index.html
[16] http://www.rt-tsukuba.jp/council/
[17] http://www.scat.or.jp/nrf/
[18] http://www.rescuesystem.org/IRSweb/home.html
[19] http://www.irc.atr.jp/std/RoIS.html
[20] http://www.openrtm.org/openrtm/ja/content/openrtm-aist-official-website
[21] http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100179.html

2.2. 導入ポテンシャル

産業用ロボットの市場については、毎年、ロボット工業会にて発表されているが、サービス分野向けのロボットに関しては、まだ市場が形成されていないために、調査や予想が困難である。これまでも将来のロボット市場に関する調査が行われたが、自動化されていない作業をロボットが行った場合という想定や類似の製品の動向などからの推定であり、潜在的な市場となっている。調査内容としては携帯電話などと同様に、ロボット機器を含めたサービスという観点から予測すると大変大きな市場も期待されている。ここでは最近の市場に関して概説する。

2.2.1. 2035年9.7兆円市場

経済産業省とNEDOがロボット産業の成長を可視化するために2035年に向けた将来市場（国内生産量）の推計を行った（図2-8）。2010年に調査結果が公開され、2015年1.6兆円、2020年2.9兆円、2025年5.3兆円、2035年9.7兆円と予測している[1]。その報告における調査内容、推定方法について、以下に抜粋紹介する。

図2-8　2035年までのロボット産業の将来市場予測 [1]
（経済産業省ロボット産業の将来市場推計）

将来市場予測においては分野ごとに行い、調査対象とするロボットを大分類・中分類・小分類の階層構造として体系化し、それぞれ将来市場（国内生産量）を推計した。その結果、ロボット産業の将来市場は、2035年に9.7兆円まで成長すると予測された。各分野の内訳は以下の通りであった。

－製造分野2.7兆円
－ロボテク（RT）製品分野1.5兆円
－農林水産分野0.5兆円
－サービス分野4.9兆円

市場推計の方法としては 各分野のロボットについて、価格帯や利用形態の類似する過去の工業製品の普及台数、世帯普及率、従来品からの置換、価格の推移をロジスティック曲線を用いてモデル化し、将来市場を推計した。推計方法としては以下の5パターンを検討した。

（パターン1）既存の推計結果を利用した推計：既存の市場推計における推計方法が利用可能なものについては、同様の推計方法に基づき推計した。

（パターン2）すでに市場が形成されているロボットについて、普及台数の実績に基づいた推計：複数年の実績が取得できるものについては、その普及台数の実績にモデルカーブを当てはめて推計した。

（パターン3）上市直後/上市予定であるロボットについて、類似製品のモデルカーブを利用した推計：パターン2のようにモデルカーブを当てはめることが難しいため、現状あるいは近いうちに予想される普及台数からモデルカーブの変数を下記のとおり設定し推計した。

- 最大導入率を仮定（例：清掃ロボット・・・国内エレベータ稼働台数の1/4）
- 類似製品のモデルカーブを当てはめ推計（例：清掃ロボット・・・産業用ロボット、移動支援ロボット・・・二輪車）

（パターン4）現在上市されていないロボットについて、ニーズ側からの推計：製品の価格や機能についての具体的な設定が困難であるため、以下のいずれかの方法により推計した。

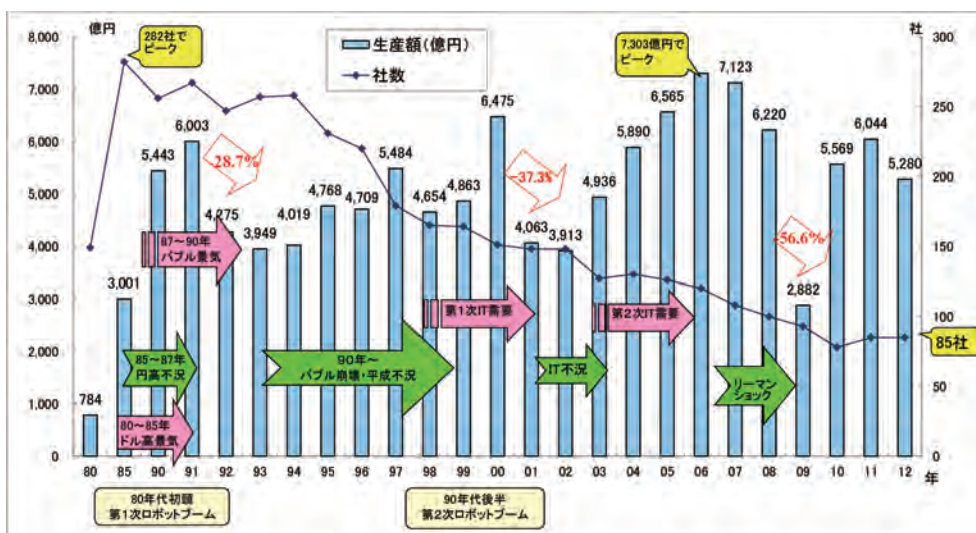
- 少子高齢化にともない減少する労働力と、産業として維持すべき労働力のギャップを、ロボットが補完するとし推計
- 類似製品の普及のモデルカーブを当てはめ推計

（パターン5）ロボテク（RT）製品について、類似製品のモデルカーブを利用した推計：既存製品のロボテク（RT）製品への置換率と、ロボテク（RT）製品のうちロボテク（RT）部分の製品価格から推計した。

2.2.2. 市場規模の推移

ロボット工業会の報告によると、2006年度に生産額で最大の7,300億円、2009年のリーマンショックでは2,800億円まで下がり、2012年度で5,300億円まで回復している（図2-9）。内訳は自動車と電機機械向けで約7割を占めている。まさに、生産設備の位置付けである。また、輸出は6～7割、そのうちの約6割が北東アジアで電子部品、及び半導体実装、クリーンルーム

等の電子・電気産業向けが主である。世界の生産工場として中国が急成長し、国別ではトップの約34%を占め、米国、韓国と続く。

図2-9　日本のロボット産業の推移（日本ロボット工業会）

2.2.3.　ロボット総合市場調査

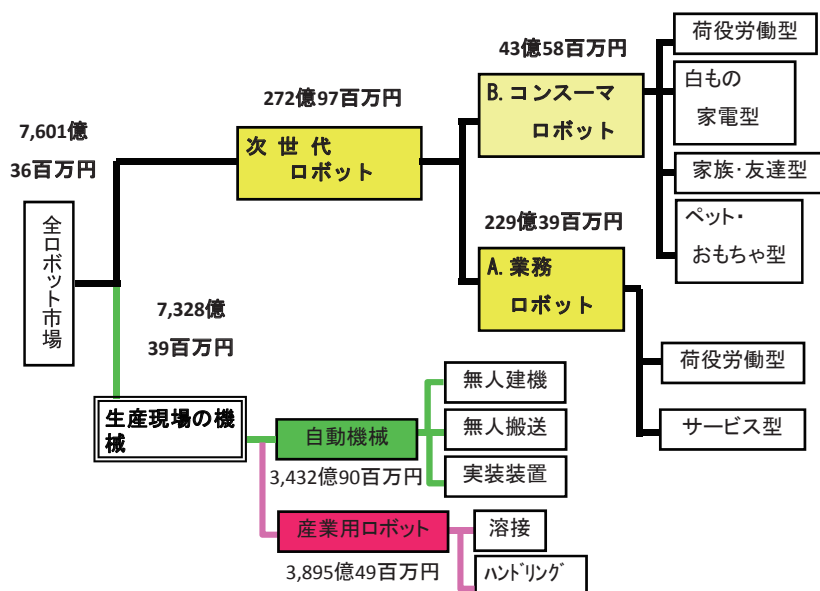
2006年度に科学技術連携施策群次世代ロボット連携群にてロボット総合市場調査が実施された[2]。日本ロボット工業会にて実施されている調査では登録されている企業で調査されており、無人搬送機やロボット的な自動機、教育用ロボットなどが含まれていない。次世代ロボットの普及を目指して、総合的に市場規模を把握することを目的に調査が実施された。調査にあたっては、以下の3項目に留意して調査を行った。

(1)　現状のロボット関連市場データの整理、現状に関する調査：食品、エンタテイメント、農業、建設・土木、各種サービスなど、特に、現在の日本ロボット工業会の統計に含まれていないロボット応用分野の市場規模の推定。

(2)　特注ロボット（カスタムメイドロボット）の市場に関する調査：ロボットを特注した実績のある企業・事業体の把握、特注ロボットの市場規模の集計。

(3)　内製ロボットの市場に関する調査：ロボットを内製する企業の特定（例えば自動車会社）、内製ロボットの市場規模の推定。

なお、調査は2005年度に実際に販売されたものを対象としている（図2-10）。自動機との区別がやや曖昧だが、センサフィードバック機能と簡単な判断機能を有するものを、ここではロボットとして抽出する。ロボット技術（RT）での調査はMSTCでも実施されていたので、協力のもと進められた。その結果、ロボットを内製しているところはなく、ほとんど購入していることが明らかとなった。また、2005年度の市場規模は以下のような結果となった。

図2-10　ロボット市場体系と市場規模（2005年度）[2]

- ロボット工業会報告：6,565億円（2005年）
- 本調査結果：7,601億円
  無人搬送機、医療・健康機器、選果システム、無人ヘリ、教育などが増加分
- システム化試算：7,789億円～1兆520億円
  システムインテグレーションやエンジニアリングまで含めた場合

ロボットの市場を正確に把握するには、ロボットの定義を明確にする必要があり、場合によっては、すでに他製品分野に含まれるものもある。しかし、ロボット産業の発展を定量的に評価しようとするならば、ロボットの定義を明確にし、総合的な市場調査を定期的に行うことは大変重要である。

2.2.4.　市場予測2013年度版

2010年4月に経産省とNEDOが公表したロボット産業の将来市場予測を受けて2013年7月に公表されたロボット産業市場動向調査では先の市場予測のフォローアップが足元市場規模として実施された[3]。その結果は簡潔に集約されているので、以下に引用する。ここでわかるように、中国市場が急速に拡大し、日本を含めドイツ、韓国が市場獲得に動いている。

(1)　産業用ロボットの市場（図2-11、図2-12）

産業用ロボットの世界市場は、金額ベースで直近5年間に約60%成長。2011年の市場規模は8,497百万ドル（6,628億円）であり、うち日本企業のシェアは50.2%。なお、電子部品

実装機を含む広義の世界市場は約13,369百万ドル（10,428億円）で、日本企業のシェアは57.3％。日本市場は直近5年間に台数ベースで約25％縮小したものの、2011年時点では、全体として世界最大市場の地位を維持。中国市場は直近5年間で約4倍に拡大し、台数ベースで日本市場に迫る規模に成長。

図2-11　産業用ロボットの世界市場規模予測 [3]

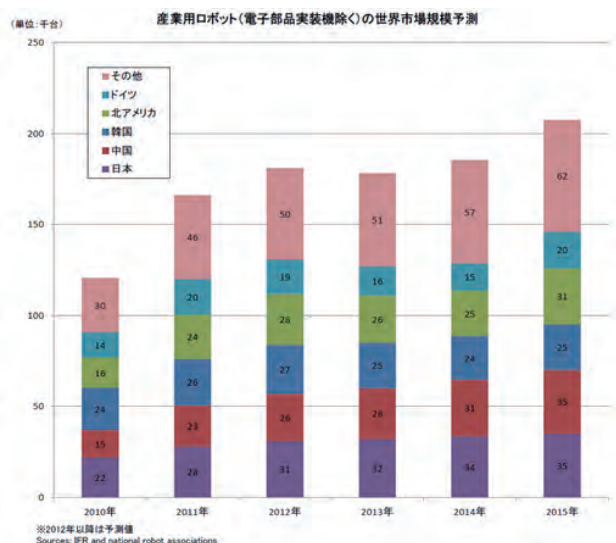
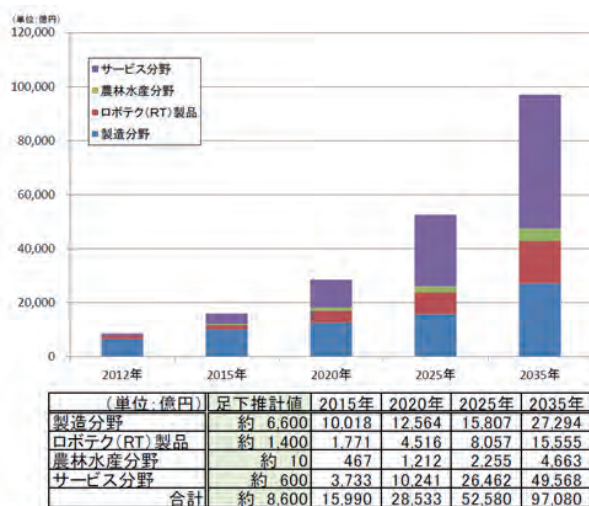



図2-12　日本のロボット産業の足元市場規模推計 [3]

（単位：億円）	足下推計値	2015年	2020年	2025年	2035年
製造分野	約　6,600	10,018	12,564	15,807	27,294
ロボテク（RT）製品	約　1,400	1,771	4,516	8,057	15,555
農林水産分野	約　10	467	1,212	2,255	4,663
サービス分野	約　600	3,733	10,241	26,462	49,568
合計	約　8,600	15,990	28,533	52,580	97,080

※2015～2035年の推計は平成22年度ロボット産業将来市場調査（経産省・NEDO）による。

第2章

(2) 産業用ロボットの輸出入

世界的な産業用ロボットの市場拡大により、日本からの産業用ロボット輸出額は、直近5年間で約80%増加。中国市場の台頭により、ドイツ、韓国は中国への輸出額を直近5年間で10倍以上に増やし、同じく4倍以上に増やした日本を含め、中国市場での競争激化が見込まれる。

(3) 世界の産業用ロボット利用状況

世界中で稼働している産業用ロボットに占める日本国内で稼働しているものの割合は、直近10年間で約48%から約27%に低下。台数ベースでも5.4万台(15.0%)の減少となっている。一方、韓国は同5.5%(4.1万台)から同10.8%(12.4万台)に、中国は0.2%(0.2万台)から6.4%(7.4万台)に、ドイツは13.1%(9.9万台)から13.6%(15.7万台)に増加。直近9年間の製造業従業員1万人当たりの産業用ロボットの利用台数は、我が国が340台程度で横ばいに留まっている一方、韓国は126台から347台に、中国は1台から21台に、ドイツは172台から261台に増加。

(4) 世界の産業用ロボットの需要先

産業用ロボットの需要先は、自動車産業と電気・電子産業が過半を占め、これに金属・機械産業と樹脂・化学工業が続く。

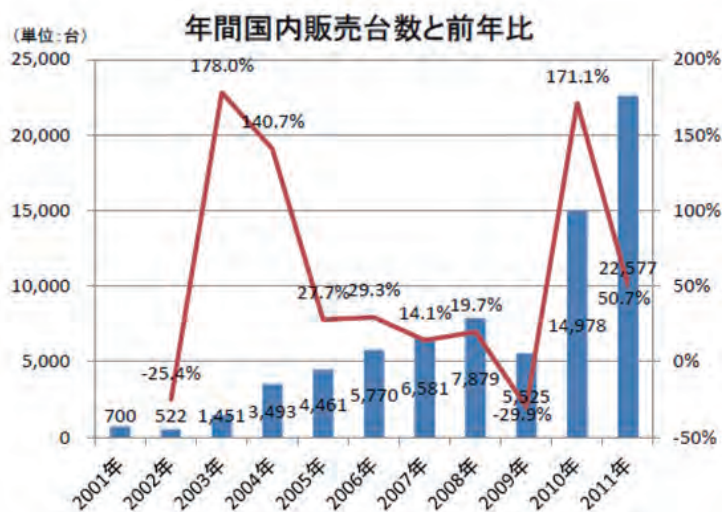
2011年の主要国・地域別の需要先別販売台数を見ると、自動車産業向けで、中国が世界第1位(18.8%)となる一方、日本は、ドイツ、アメリカに次ぐ第4位(12.2%)に留まる。電気・電子産業向けでは、韓国が日本を抑えて第1位となり、日韓両国向けで世界シェアの67.1%を占める。金属・機械産業向けでは、中国が第1位(17.8%)である。

(5) 産業用ロボットの中国市場動向(**図2-13**)

産業用ロボットの中国市場は、2001年以降、年平均41%増で成長し、直近10年間で32倍に拡大。すでに、自動車産業向けで世界最大の産業用ロボット市場となっているが、電気・電子産業向けについても、人件費の上昇を背景に産業用ロボットの利用が進むことが予想される。

中国の産業用ロボットの輸入先を見ると、日本が圧倒的な第1位(70.6%)となっており、なお増加傾向にある。中国からの輸出はまだ少ないものの、2011年の輸出台数は対前年比132%となっており、今後の動向に注視が必要である。

日本の産業用ロボット・電子部品実装メーカにとっての中国市場の位置づけは年々比重を増し、日本の輸出額に占める中国向けの割合は直近4年間で8.5%から20.5%へ上昇。

図2-13　中国の産業用ロボット 国内販売状況 [3]

2.2.5.　他分野でのロボット技術応用

すでに、2.1.2.で述べたように、ロボットやロボット技術の応用は家電、介護、医療機器、自動車、食品などに広がりを見せている。

とくに、食品業界では、新興国の需要が増加し原材料の値上げや、海外生産での人件費の高騰などより、省力化による人件費の削減や歩留まりの向上による採算の改善が求められている。作業工程にロボットの導入を検討し、食品向けに売り上げを伸ばしている企業もある。また、食品では、作業時間、省スペース、衛生・安全などの面でもロボット化のメリットは大きいと考えられ、医薬品や化粧品の分野も同様に注目されている。

自動車会社では2020年までに自動運転車（ロボットカー）を発売すると発表したところもあり、自動車業界ではロボットカーの話題が多く、実用化に向けて活気づいている。自動車に本格的に応用されると、交通インフラなど周辺への波及効果も大きく、新たな市場創出に繋がって行くことが期待されている。

参考文献

[1]　http://www.meti.go.jp/press/20100423003/20100423003-2.pdf
[2]　総合科学技術会議科学技術連携施策群次世代ロボット連携群　ロボット総合市場調査―2005年度実績―報告書、2007年3月.
[3]　経済産業省産業機械課,2012年 ロボット産業の市場動向,平成25年7月.
http://www.meti.go.jp/press/2013/07/20130718002/20130718002-3.pdf

～日本人は欧米人よりもロボット好きが多いか？～

「日本人は欧米人に比べてロボット好きが多い」という説がある。肯定派もいれば、否定派もおり、結局のところ結論は出ないが、何度も繰り返される話題といった感がある。このコラムで結論を出そうという意図は無いが、繰り返される話題の１つとして読んでいただきたい。

ロボットは欧米生まれ

そもそも産業用ロボットは欧米で開発された機械であり、ロボットという言葉自体もチェコの作家が作り出した言葉である。世界一の売上げ台数を誇るサービスロボットも米国生まれの掃除ロボットである。欧米人がロボットを毛嫌いする理由は思いつかない。しかし「日本人はロボット好き」という言葉を聞くと、特に理由もなくそうかなと思ってしまうのは、自分が日本人でロボットに関する仕事に携わっているからだからだろうか？

ロボットはアイドル？

エンターテイメント・ロボットの話ではなく、産業用ロボットが日本で導入され始めたころの話である。1982年に発刊された「日本のロボット」という調査報告書に「スポット溶接用ロボットに当時の人気アイドル達の名前が付けられ、写真まで貼り付けられていた」という話が紹介されている。さらに「ロボットも仲間だ」とう考え方を示すものだという説明が加えられている。確かに欧米では無さそうな話であり、当時、欧米ではロボットの導入に労働者が反対していたことを考えると日本人は昔からロボット好きなのかなという気がしてくる。

ロボットが主人公の漫画やアニメが影響？

日本人は小さいころからロボットを主人公にした漫画やアニメに親しんでいるので、ロボットに愛着を感じる人が多いという説明もある。確かに筆者もそのように育ってきたので、この説明は分かる気がする。しかし、二足歩行ロボットの一般公開デモに携わった際の話であるが、連日多くの観客にデモをご覧いただいた。とりわけ子供の人気は高かったのだが、時おりデモが始まると泣き出す子供がいるのには驚いた。感激しているのではなく、怖がっていたのである。同じような話は別のタイプのロボットの展示会でもあったそうである。少なくとも「アニメ好き」が必ずしも「ロボット好き」では無いようなのである。

不気味の谷

東京工業大学名誉教授・森政弘先生は、ロボットの見かけが人とどれくらい似ているかが、見る人の感情に影響を与えるという「不気味の谷」の概念を提唱された。ロボットが人とまったく異なる見かけから、人にそっくりな見かけになるに従って、人はロボットに好感を抱くようになるが、人にそっくりになる手前の段階（不完全な見かけ）で、急激に嫌悪感が強くなる領域があり、森先生は、それを「不気味の谷」と名づけた。

産業用ロボットや家庭用掃除ロボットは見た目が人と異なっているため、人に嫌悪感を与えることはく、人に良く似た見かけの二足歩行ロボットは人に嫌悪感を与えるので、泣く子もいると考えると「不気味の谷」の概念には説得力を感じる。

「ロボット好きに人種は関係なく、ロボットの見かけしだい」というのが今回の結論だが、どれくらいの方から賛同いただけるだろうか？

横山 和彦（株式会社安川電機 技術開発本部 開発研究所 つくば研究所）

2.3. 産業界におけるロボットの意義・必要性

我が国で産業用ロボットが普及し始めて30年余り．この間産業用ロボットは多くの製造現場で利用されるようになってはきた．産業用ロボットは多くの3K作業（危険、汚い、きつい）から作業者を解放し、安定した品質の製品の提供、熟練労働者不足を補うなど世界の物作りに大いに貢献してきた。また今後は少子高齢化によるさらなる労働力不足や、熟練工の減少が予測されており、産業用ロボットに対する期待はさらに大きくなっている。

本項では、これまでの産業用ロボットの導入事例を紹介し、さらなる普及に向けて解決しなければならない課題をあげてみる。

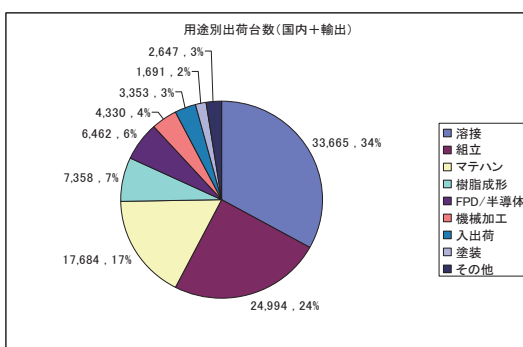
2.3.1. 産業用ロボット導入のメリット

産業用ロボットは生産設備であるため、ロボットを導入するメリットはまず生産性の向上、省人化による経費の節減、製品の品質の安定化と向上、多品種への対応や省資源・省エネルギーである。次に労働環境の改善・安全確保（3K作業からの開放）があげられる。文献 [1] ではロボットを導入した際のメリットを用途及び事例ごとに詳しく紹介されているので参照願いたい。

第2章

2.3.2. 産業用ロボットの用途と事例

産業用ロボットの主な用途は、溶接、組立、マテハン（マテリアルハンドリング：物品搬送）、樹脂成形、FPD/半導体（搬送）、等である（図2-14）。本節では、出荷台数の半数以上を占める溶接作業と組立作業と今後普及が期待される用途の事例を紹介する。

図2-14　用途別ロボット出荷台数

（出典：日本ロボット工業会統計より作成）

（1）アーク溶接

アーク溶接は、アーク放電により発生した熱で溶接ワイヤと鋼板を溶かして接合する溶接法である（図2-15）。

アーク放電により紫外線や有害ガスが発生するため、3K作業の1つにあげられており、手首に溶接トーチを装着した産業用ロボット（図2-16）が早い時期から導入され、作業者を3K作業から解放した（文献[2]）。

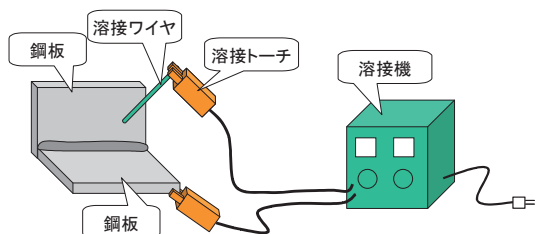
図2-15　アーク溶接

（出典：文献[2]より）

図2-16　アーク溶接ロボット

（出典：（株）安川電機のHPより）

現在では、様々な機能開発により熟練工の行う溶接法を代替できるアーク溶接ロボットが出荷されている。三台のロボットが協調しながら実施するアーク溶接システムを（図2-17）に示す。この例では、中央のロボットが溶接を行い、両側のロボットが溶接対象のワークの姿勢を変えることで、中央のロボットが溶接作業を容易に行えるようなシステムとなっている。

図2-17　アーク溶接ロボットシステム

（出典：（株）安川電機のHPより）

（2）組立

図2-18　組立ロボット

（出典：（株）安川電機のHPより）

組立用途の多くは基板に電子部品を実装するロボットが占めるが、近年これまで人手に頼っていた複雑な組立作業を行うことができるロボットが実用化されている。(図2-18）に示す双腕型組立ロボットは、左腕で組立中の小型ロボットのアームを持ちながら、右腕に持った電動ドライバでネジ締め作業を行っている。人や単腕型ロボットが同じような作業を行う場合に不可欠な作業用の特殊な治具を必要としない双腕型ロボットシステムによる組立は今後の普及が期待される。

（3）マテリアルハンドリング

図2-19　Baxter

（出典：Rethink Robotics社のHPより）

Rethink Robotics社（米国）の双腕ロボットBaxter（図2-19）は、人との共存作業を考慮してアームが柔軟材で覆われており、ロボットのアームを人が握って動作を教示するダイレクトティーチング方式が採用されている。このためロボットの操作に不慣れな作業者が簡単に教示できる。また販売価格が200万円程度と同じ自由度を有する産業用ロボットより導入費用が安く、中小規模のユーザへの普及が期待されている。

（4）搬送

工場内で物品を自動搬送するためにAGV（Automatic Guided Vehicle: 無人搬送車）が利用されているが、Kiva Systems社（米国）の搬送ロボットは、棚の下に潜り込み、ロボット上部と棚を連結して棚ごと搬送する独自の方式を採用している。標準の機種では454kgの棚を搬送することが可能である。30,000㎡の倉庫内で500台のシステムを制御する運用システムも運用されている。ベルトコンベアで構築した場合、12～18ヶ月かかる搬送システムを数週間で構築できるという。専用のリフターを利用することによりフロアー間の搬送も可能である。

（5）バイオメディカル

食品・薬品・化粧品の研究・開発・製造分野は、これからの産業用ロボット導入が期待されている市場である。このうち薬品（バイオメディカル）分野向けに開発された試薬・検体分析前処理ロボットは、これまで人が行ってきたベンチワークでの試薬・検体分析前処理を双腕型ロボットで代替するロボットである（図2-20、図2-21）。ロボットを用いることにより、熟練した検査員が行う場合に比べてデータのバラつきが少なく精度の高い実験データを得ることが可能で、病原菌ウイルスを扱うような危険な作業環境から検査員を解放することができる。また簡易教示システムを採用することによりロボットの操作に不慣れな検査員でも検査の手順を変更することが可能となっている。

図2-20　分析前処理ロボットシステム

（出典：（株）安川電機のHPより）

図2-21　ピペットによる試薬分注作業

（出典：（株）安川電機のHPより）

2.3.3.　産業用ロボットの課題

現在実用化されている産業用ロボットの多くがアームを有したロボット（多関節型ロボット）であり、テレビのリモコンのようにボタンが並んだティーチペンダントと呼ばれる操作装置（図2-22）で実際にロボットを動かしながらロボットの手先に装着された工具の動作軌跡を教示

した後、教示した動作軌跡をたどるように手先の工具を動かすティーチングプレイバックというプログラミング方式を採用している。

しかし多関節型ロボットを意図するように操作するまでにはある程度の訓練が必要なうえ、関節の多いアームや複数のアームを協調させる最近のロボットシステムの場合は、熟練した教示者でもかなりの時間を要する作業となっている。今後、より複雑になっていくことが予想されるロボットシステムにとって教示作業の簡易化が最も大きな課題である。また教示作業の簡易化は、これまで複雑な装置として導入を敬遠してきたユーザにも産業用ロボットの導入を促すことが期待できる。本節では、この教示の簡易化に向けて取り組むべき技術課題をあげることにする。

図2-22 ティーチペンダント

（出典：（株）不二越のHPより）

（1）動作軌跡教示

すでに述べたように、現在はティーチペンダントによる教示が主流であるが、人がロボットのアームを直接持って動作を教示するダイレクトティーチングという方式やコンピュータとコンピュータ・グラフィックスを利用したオフライン教示が開発されている。

ダイレクトティーチングは、塗装作業のように滑らかなスプレーガンの動きを教示するのに適しているが、全ての動作を教示するには適していない。また、オフラインティーチングは、ロボットを設置する前に教示作業を行うことができるのでロボットシステムの立上げ期間短縮が図れる。また人が教示作業を行わないことが良い環境（クリーンルーム内、塗装ブース内等）での教示には適している。しかしロボットを含む作業環境のモデル（三次元CADデータ）が必要であり、モデルと実環境の間に存在する誤差のため、現場で教示したデータを修正する必要が生じることがある。

このように各教示方式には一長一短がある中で、ティーチペンダントを利用した教示が主流となっている状態であるが、これら既存の教示方式の最適な組み合わせ方法や、これらを凌ぐ方式の開発が必要である。

（2）エアカット動作教示

産業用ロボットが、ある作業箇所から別の作業箇所へ工具を移動させる動作は、何も作業をせずに空間で手先を動かすだけの動作なのでエアカットと呼ばれている。サイクルタイムの向上にはエアカット時間の短縮が重要で熟練した教示者はワーク等とアームの干渉を避けながら最適な軌跡教示を行っている。

第2章

複数のロボットを接近して設置しているシステムでは、動作している他のロボットとの干渉を考慮しなければならないため、最適な軌跡を教示することが困難になりつつあり、動的な障害物回避を含む軌道の自動生成機能の開発が望まれる。

（3）スキル教示

アーク溶接の場合、接合する鋼板の継ぎ手形状や鋼板の厚さに応じた最適な条件（電圧・電流、溶接トーチを動かす速度等）があり、熟練した作業者は長年の経験等からこれらの条件を設定している。一般には職人の技（スキル）と言われるものである。産業用ロボットが、人と同等の作業を行うためには、何らかの形でスキルを数値化して教示しなければならない。現在、鋼板の厚みや開先形状を入力するだけで溶接条件を自動的に設定する機能（一種のデータベース）が開発されているが、他の作業でも同様な機能の開発が必要である。特に産業用ロボットの導入が増えている東南アジア等の新興国では、各種作業に熟練した技術者が十分に確保できないという問題が生じており、これらの国々での市場確保には欠かせない機能となると思われる。

（4）ビジョン・センサ教示

人は五感（視覚、触覚、聴覚、味覚と臭覚）で環境を把握して行動している。特に視覚からの情報は重要と考えられ、産業用ロボットでも比較的早い時期からビジョン・カメラを利用した画像処理技術を取り入れてきた。この技術により教示位置と実際のワークが多少ずれていても、ロボットが動作を修正して対応する機能や、バラ積みされた部品の山から必要な部品を取り出す機能（ビンピッキング）が開発され、産業用ロボットの応用範囲を広げてきた。また、近年はビジョン・センサの高速化や三次元計測技術の向上によりベルトコンベアを流れる部品のピッキングや、様々な形状をした部品のハンドリングも可能となってきている。

このようにビジョン・センサはロボットの用途を広げるには有効なデバイスであるが、センサが計測した情報から対象物を認識するためには、対処物の形状や特徴点といったデータを予め教示しておく必要がある。この教示には画像処理の専門知識が必要なため、システム立上げ時には専門家により教示済みとなっていることが多い。しかし、ワークの追加や変更等が生じた場合には、専門家に依頼しなければならない場合もありユーザからは敬遠されることもある。このため産業用ロボットの用途拡大のためには、画像処理の専門知識が無くともビジョンシステムの教示を行える機能の開発が望まれる。

2.3.4.　簡易教示から教示レスへ

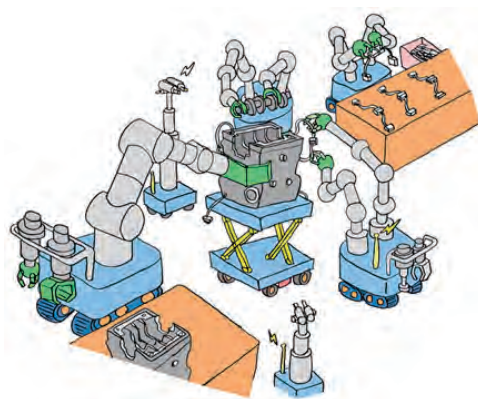
前節で教示の簡易化に関する課題をあげてきたが、ユーザの究極の要求は、教示をしないこと（教示レス）であろう。

人は道具の使い方、作業の手順や図面の読み方を覚えると、類似の作業であれば多少の練習をするだけで作業をこなすことができる。また位置や姿勢がずれていても支障なく作業を進めることができる。さらに状況に応じて段取りを変えて作業をしている。この点が現在のロボッ

トに欠けている機能であり、多くの研究者がロボットを人と同じように作業ができるようにするために研究に取り組んでいる。これは「ロボットの知能化」と呼ばれる研究テーマであるが、このテーマは大きく環境の計測・認識、作業計画、作業計画実行に分けられ、さらに作業計画実行中に、環境の計測・認識と作業計画を行う必要があるなど、複雑で難易度が高く、多くの研究成果を統合しなければ実現しない研究テーマであり、多くの研究機関の協力が不可欠である。

米国では国防省が災害現場での復旧作業という大きな目標を掲げてロボットチャレンジを実施しており、成果が報告され始めている。我が国でも、（図2-23）や（図2-24）に示すようなロボットシステムを目標に掲げて、産業用ロボットの教示レス機能だけではなく、非製造業向けロボットにも適用可能な様々な新しい技術の共同研究開発を推進していくことが、ロボット産業全体の拡大に繋がると期待する。

図2-23　人とロボットが共存する組立てセル

図2-24　エンジンブロック組立て

2.3.5.　まとめ

本項では、これまでの産業用ロボットの導入事例を紹介し、今後の産業用ロボットの市場拡大に向けて取り組まなければならない技術課題を取り上げた。

解決しなければならない技術課題は多く、またその難易度は非常に高い。しかし産業用ロボット市場がある程度成長した段階から産業用ロボットの研究・開発は各メーカに委ねられている。我が国の物づくりを支える産業用ロボットメーカに世界ダントツの技術力を与え、大幅な市場拡大に必要な技術の研究・開発には、かつての大型プロジェクトのような国の支援が強く望まれる。

参考文献

[1]　稲垣他，ロボットハンドブック，（社）日本ロボット工業会，2005.

[2]　中山眞，ロボットが日本を救う，東洋経済新報社，2006.

2.4. 社会におけるロボットの意義・必要性

2.4.1. 社会におけるサービスロボット

1.3章のロボット分野によれば、サービスロボットは、生活分野、介護福祉分野、医療分野、移動分野に分けられる。ここでは、社会におけるサービスロボット及びロボットを利用したサービス（ロボットサービスと呼ぶ）の意義・必要性について述べる。

2.4.2. サービスロボットの必要性

超高齢社会に突入した我が国では、独居高齢者や障害者などが自宅で自立生活や商業・公共施設への外出・社会参加を促進するための社会インフラ、環境・法的整備が喫緊の課題になっている。特に、高齢者・障害者の生活支援・社会参加を実現するためには、身体機能の補助や商業施設などにおける案内支援・情報提供、家庭での生活支援、コミュニティ形成支援、介護者の負担軽減のためにロボットやロボットを用いたサービスへの期待が高まっている。例えば、ロボットは物理的なアクチュエーション（モノや人を運ぶなど）と情報的なアクチュエーション（人とコミュニケーションするなど）によって人々を支援することができる。さらに、高齢者・障害者に、あたかも、子供や孫と話をしているような感覚も提供することができる。これらの機能が社会参加の促進に役立つことが実験から明らかになってきている。

サービスロボットの開発によって、健康を長く維持して自立的に暮らす、生きがいをもって働けるうちはいつまでも働き社会参加する、などが可能になり、その成果がそのまま、超高齢社会に対応した新産業創出とグローバル展開の原動力になることが期待されている。この方策の基本的視点としては、次のような内容が検討されている（平成25年5月、総務省ICT超高齢社会構想会議報告書より抜粋）。

- ターゲットユーザーのニーズとして、高齢者や障害者を「供給者目線」でなく、「利用者目線」に立って検討を進める必要がある。
- 高齢者は必ずしも「支えられる」存在としてのみ捉えるのではなく、現役世代とともに社会経済活動を「支えていく」存在としても捉える必要がある。
- 開発するロボットサービスも、それらの生産性や効率性だけを追求するのではなく、運用コスト（特に、コストパフォーマンス）も含めた持続可能性を念頭におくものでなくてはならない。
- 将来的にグローバル市場でも競争力のある異業種連携（オープンイノベーション）を進めることが肝心である。

これらの視点を踏まえた上で、健康を長く維持するためのロボットを介したヘルスケアサービス、自立的に暮らすためのロボットを介した見守りロボットサービスが検討されている。生きがいをもって働くことに関しては、高齢者によるコミュニケーションロボットの遠隔対話サービスの実証実験が行われている。高齢者の社会参加促進に関わるサービスとしては、コミ

ュニケーション支援、コミュニティ形成支援、買物・回遊・店舗誘導支援などのロボットサービス実験が行われている。これらのサービスは、ロボット対話（Human-Robot Interaction, HRI）技術の向上により、高齢者などのユーザに対して、子供や孫と話をしているような感覚を提供し、ユーザの外出や社会参加への動機付けにつなげることができる。

サービス産業へのロボットの利用はきわめて市場性が高く、2035年には約4.9兆円まで成長すると予測されている（平成22年 経済産業省・NEDO ロボット産業将来市場調査より）。それに加えて、ロボットサービスの質の向上につながるHRI技術によって、サービスの再利用性が高まり、さらなる市場の拡大が見込めるとともに、高齢者や障害者がアクティブに社会参加できるようになる。特に、2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会を成功裏に収めるために、観光・レジャー・ショッピング・イベント支援などの分野で、これらのサービスロボットに対する期待が高まっていくと予想される。中でも、おもてなしに関する対話行動に関する、エンターテインメント性、人との共生、安全性、社会へのインストールのしやすさ、全天候性、バッテリ時間、コストパフォーマンスなどの大幅な性能向上を図る必要がある。

（5）ロボットにしかできないサービス

コミュニケーションメディアとして社会に導入している成功例として携帯電話やスマートフォンがあげられる。しかしながら、現在主流になりつつあるスマートフォンは一見便利そうに見えるが、東日本の震災支援などを通じて、文字入力や指のジェスチャ操作でいれる入力方式自体、煩わしいと思う高齢者や障害者の意見が多いことも明らかになっている。これに対して、コミュニケーションロボットは、メガネ（老眼鏡）をかけなくても、両手が塞がっていても、あたかも人に話す感覚で話すことができる。高齢者や障害者にとっても、スクリーンメニューをタッチする必要がないという点で使いやすい入力方式である。それだけでなく、動きのあるロボットと話していると、楽しくなり、何度か話しているとユーザ自身に愛着が湧いてくるインタフェースである。特に、子供たちは、コミュニケーションロボットに対する憧れや関心が非常に強い。価格帯も10年前は小型ヒューマノイドで数10万円であったものが現在は数千円から数万円まで下がった。この対話行動のアクチュエーション機能は、振る舞いが人間に似てくれば似てくるほど、人同士のコミュニケーションとは異なる部分が目立ってくることも事実で、人とのコミュニケーション能力の性能が向上していくとともに、この市場を拡大していくことになる。

次に、ロボットは、スマートフォンやタブレット端末ではできない物理的なアクチュエーション機能がある。対話行動の情報的アクチュエーションと物理的なアクチュエーション機能が融合したサービスロボットの開発インフラが確立されれば、スマホ市場を超える、新たなサービスロボット（アクチュエーション）市場が生まれる可能性が高い。

エンターテインメント性という視点からは、ロボットの外形に関する研究開発が加速する可能性がある。アンドロイド型や人型、ペット型などのロボットは、人や動物に触れるような存在感のあるインタフェースであり、携帯電話やスマホに比べて計り知れないデザインの多様性

を秘めている。アンドロイド型では、特定人物の酷似した見えや人間らしさをわずかに残した見えなどを無数に設計することができる。ヒューマンインタフェースという視点からみても、遠隔操作者がアンドロイドのキャラクターに乗り移るという現象も疑似体験できる。アンドロイド型、人型、ペット型なども、実際の介護現場でも癒やし効果もあることがわかってきた。しかしながら、人間のこうした特性が明らかになればなるほど、ユーザの商品に求める基準も年々高まることが予想され、持続的に、デザイン性、材質、質感などを高める研究開発が必要になる。

2.4.3. サービスロボット事例

サービスロボットで代表的な例として、掃除ロボットのように単機能でも生活者に広く受け容れられ、爆発的に売れた商品もある。一方、我が国では2003年頃から、コミュニケーションロボットやエンターテインメントロボットが多数商品化され、販売されたがコストパフォーマンスもからんで、販売数が伸びない商品も多かった。2013年2月に発売されたロビ（ロボット・ガレージ 高橋智隆氏）や、景品として選ばれたロボタイマー（ヴイストン）はコストパフォーマンスの問題をクリアした数少ない例といえる。

しかしながら、これまで、ビジネスとして成功しているサービスロボットのほとんどは米国発であるという点も見逃せない。具体的には、コミュニケーションロボットでは、1998年に登場したペットロボット「ファービー」（Tiger Electronics社、現在はタカラトミー）、元NASAの研究者が開発したエンターテインメントロボット「ロボサピエン」（現在は中国でRoboacotorと言う名称で販売）、情報通信研究機構（NICT）開発であったが米国で製品化された「My Keepon」、掃除ロボット「Roomba」、2003年のロボカップ世界大会がヒントになって開発された物流センター向け自律運搬ロボット「Kiva Systems」（Amazon社）、遠隔医療向けテレプレゼンスロボット「RP-7i」（InTouch Health社）、遠隔医療向け自律医療用ロボット「RP-VITA」（iRobot社とInTouch Health社との共同開発）など多数の成功例がある。

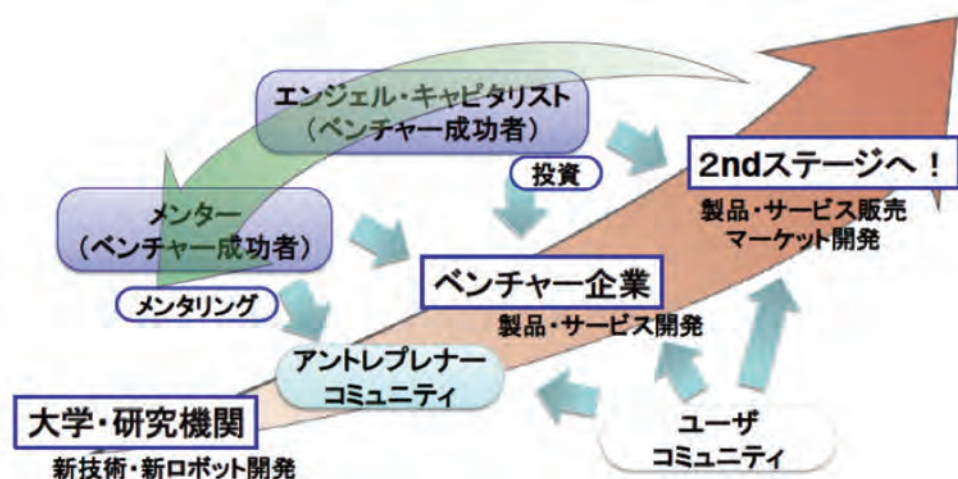
（1）日米との市場比較

サービスロボット市場について日本と米国を比較すると、これからのロボットの意義・必要性をグローバルイノベーションという視点から明らかにすることができる。

我が国では、超高齢社会インフラを実現するために、この10年、挑戦的な科学技術開発のテーマとして、生活分野、介護福祉分野、医療分野、移動分野の各分野でサービスロボットを開発してきた。その中で、自宅だけでなく社会参加を促す商業施設での実証実験やその結果に対するユーザや市民のフィードバック・受容性調査を繰り返し行い、国際標準化の推進やユーザの欲しいサービスを明確にしてきた。一部、自治体と連携したサービス連携・統合実験、特区を活用した法的整備の取り組みなどを検討してきた。これらの点は米国に比べて、かなり挑戦的な研究開発を行ってきたといえる。

一方、米国では、研究開発という視点からみると必ずしも挑戦的な課題に拘らず、ロボット

を社会に浸透させる、特にグローバルに通用する製品・システム・デバイスを開発することに重きをおいている。研究開発、製品開発、資金調達、マーケティングなどでユーザを巻き込んで、すぐに実行に移せる、いわゆる「エコシステム」がうまく回っている。「早く」「安く」「いい製品・サービス」を実現できるエコシステムを回すようにするには、大学・研究機関、ベンチャー企業のスタートアップ（製品・サービス開発）、ベンチャー企業のセカンドステージ（製品・サービス販売、マーケット開発）の枠組みを創るだけでは不十分である。米国では、（図2-25）に示すように、それらを支える、アントレプレナーコミュニティ、ユーザコミュニティ、ベンチャー成功者によるメンターやエンジェル・キャピタリスト（資金提供者）などが要所要所にいつでも集える環境が整備されている。我が国はサービスロボット分野でこのようなヒューマンネットインフラを強化する人材養成プログラムを推進する必要がある。

図2-25　ロボットを社会に浸透させるエコシステム

2.4.4.　ロボットサービス事例

ロボットサービスとは、センシング（認識）、アクチュエーション（駆動）、コントロール（制御）の3機能を持つロボット、デバイス、システムをいう。デバイス例として、ナノボット（体内のがん細胞を見つけて、その周りに付着し、抗がん剤で死滅させる）、システム例として、高齢者の社会参加を促進するための電動車いす型ロボットによる店舗間回遊支援（足の不自由な客を店舗内の電動車いす型ロボットが見つけ、その人に近づき、商店街の中で行きたいお店や欲しい商品の場所まで安全に連れて行く）サービス実験が行われてきた。

しかしながら、ロボットサービスを実際の事業にするには技術的障壁があった。まず、ある施設で動くロボットサービスを別の施設に持って行くと床の傾き，床面の状態，移動路の障害物などが変化するために、改めてプログラムし直さなければならないという場所の問題があった。点字ブロックを走破できないロボットではサービスを実行できないというロボット性能の

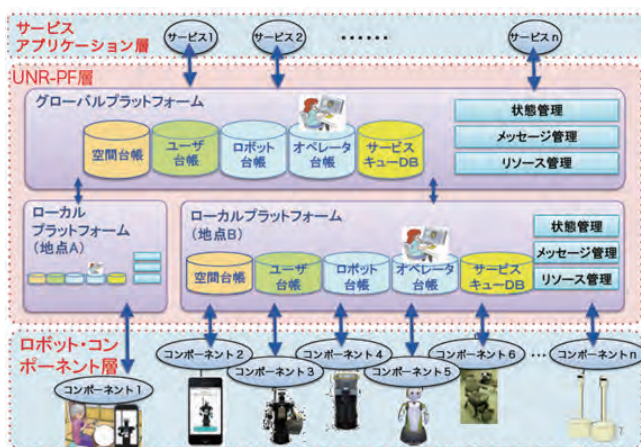
問題もあった。若者、高齢者、足の不自由な方等のユーザの違いに対して対応できないという利用者属性の問題もあった。環境センサの人位置・行動認識能力差などの状況認識能力の差のために、ロボット同士が衝突することや、人混みの中をスムーズに人を避けて通り抜けるなどの課題も残されていた。これらの課題を解決するために、環境（空間）、ロボット、ユーザの違いを把握し、多くのロボットを管理してサービスを提供するためには、ロボットサービス提供システム・アーキテクチャが必要であった。

コストパフォーマンスの問題もあった。あるサービスロボットシステムが開発できたとしても、提供されるサービスの価値がコストに見合うほどに高くなければ普及できない。例えば、人型ロボット、アンドロイド、スマートフォン上のキャラクタエージェントなどは、本来、汎用的な利用を考慮して研究開発されてきたものであり、様々なサービスが提供できるはずである。実際、癒やしを目的としたロボットは、高齢者・障害者の癒やしだけではなく、遠隔地の家族との対話に利用することができ、アンドロイドは、劇場での演劇や百貨店の店員代わりなどで活躍し始めている。このような複数のサービスを1つのサービスロボットシステムが提供できるようになれば、新しいサービス提供事業の形態が生まれ、これまで価格が見合わなかった事業もトータルとして見合う事業に変わっていくことが期待できる。そのために、IT事業に深く関わっている開発者がサービスロボット分野に参入しやすいプラットフォーム作りが課題となっていた。

（1）ユビキタスネットワークロボット・プラットフォーム（UNR-PF）

ロボットに特有のこれらの問題を解決するために、場所、ロボット、ユーザ属性、状況管理、地点間のメッセージ管理を可能にするロボットサービス連携システム・アーキテクチャ（図2-26）が提案された[1]。

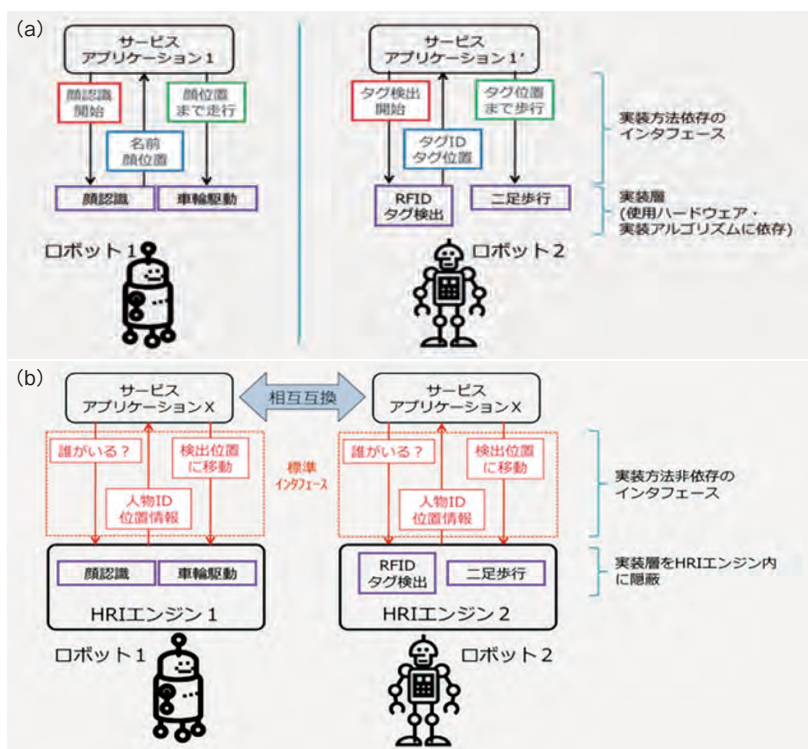
場所、ロボット、ユーザ、遠隔オペレータが変わってもロボットサービスが動き、スマートフォンのように複数種類のロボットサービスを同時に動かせるロボットサービス連携システム

図2-26　ロボットサービス連携システム・アーキテクチャ（3層構造）

のアーキテクチャで3層構造からなる。

まず、サービスアプリケーション層はサービスプロバイダによって管理されUNRプラットフォーム層（以後、UNR-PF層と呼ぶ）が提供する共通インタフェース（の中に含まれる関数）を用いて、サービスアプリを書く事ができる。すなわち、サービスプロバイダにとっては、ロボットの細かい仕様を知らなくてもロボットサービスを共通インタフェース（表2-1の15種類のHRIコンポーネント）でロボット対話（Human-Robot Interaction, HRI）のアプリを書くことができる。たとえば、「個人IDを取得する」という「個人同定」の関数を利用すれば、実際の地点に設置してあるセンサが無線タグの場合やカメラによる顔画像認識の場合を気にしないで、アプリを書ける。

今までのロボットサービスは（図2-27（a））に示すように、ロボット1の個人同定法（顔認識）とロボット2の方法（タグID）に依存してサービスアプリを変更しなくてはならなかっ

表2-1　基本HRIコンポーネント

1	システム情報	9	音声認識
2	人検出	10	ジェスチャ認識
3	人位置検出	11	音声合成
4	個人同定	12	応答動作
5	顔検出	13	ナビゲーション
6	顔位置検出	14	追従
7	音検出	15	移動
8	音源位置検出		（機能追加も可能）

（a）ロボットの実装方法に依存する従来の場合
（b）実装方法に依存しないHRIコンポーネントの場合

た。一方、RoISによって、個人同定関数で書けば、(図2-27 (b)）に示すように、同じサービスアプリXでロボット1でもロボット2でも動作できるようになる。

次に、ロボットコンポーネント層では無線タグやカメラによるアルゴリズム、ハードウェアなどを個別に開発・改良することができる。これらの基本条件を満たすために，UNR-PF層は表2-2に示すような機能を持つ、5種類のデータベース（4種類の台帳を含む）と3種類のマネージャを多地点ないし各地点に配置する。

表2-2　UNR-PF層の台帳とマネージャ

台帳とマネージャ	主な機能
空間台帳	地点別の床情報，床の性質，各ロボットの稼働範囲・禁止区域などを記述
ユーザ台帳	各地点のロボットリソースを確保するために，高齢者，障害者などのユーザの利用特性を記述
ロボット台帳	各地点で各ロボットサービスに対応できるロボットの性能(走破性，移動速度，ペイロード，顔認識機能など)や形状(人型や電動車いす型，カート型など)の情報を記述
オペレータ台帳	オペレータが一度に操作可能なロボットの台数などのオペレータ操作能力を記述
サービスキューDB	多地点サービスのIDとその初期条件をセット．次に，各地点が開始通知をもらったら，そのサービスIDとその初期条件をセット
状態マネージャ	多地点と各地点でサービスキューに登録されている状態を通知し，サービス開始の条件を満たせば，サービス開始をサービスアプリ側に通知
リソース・マネージャ	サービス実行前にロボット台帳，ユーザ台帳，オペレータ台帳を参照して，ユーザに合うロボット，オペレータを決定する
メッセージ・マネージャ	地点間でサービスアプリと必要なロボット機能がどれであるかをメッセージ交換．サービスアプリに適合するロボット機能があれば，その機能を実行できるロボットがその地点にあるかをリソース・マネージャに聞き．ロボットがあれば，状態マネージャやサービスアプリにその旨を通知

（2）ロボットサービスの連携

複数のロボットサービスを、スマートフォンを利用して連携させる実証実験が行われた。例えば、ある日、商業施設でロボットを見かけた時に、そのロボットが自分にどんなサービスをしてくれるかが従来のロボット技術では不明であった。この問題を解決するために、ユーザに応じて、その場所でどんなロボットサービス提供が可能かをUNR-PFを用いて、システムが自動的に決定する方法を提案している。具体的には、2013年1月に実際の商業施設（京都府相楽郡アピタ精華台店）でATRが開発した店舗間回遊支援（図2-28)、買い物支援と、東芝が開発したヘルスケア(家庭と医療施設や介護者宅などで健康状態を共有し適切な情報提供を行う）の3種類のロボットサービスを連携してサービス提供する実験がある。(図2-29）に示すように、ロボットサービスアプリケーションのアイコンがスマートフォン上に浮き出てくるため、ユーザーは初めて行った場所でもどのアプリが利用できるかを自動的に知ることができる。(図

2-29）の2つのサービスを、（図2-30）のように、回遊中に買い物支援のアプリに切り替える（割り込み）など、シーケンシャル、割り込み、並列などの処理を選ぶことができる。

図2-28　車いす型ロボットによる店舗間回遊支援サービスの実証実験

図2-29　利用者が訪れた場所で利用できるロボットサービスアプリ

図2-30　多地点ロボットサービスに対応したUNR-PF

2.4.5. ロボットサービスを通じたユーザニーズの収集

サービス業において、顧客満足度（CS）は極めて重要な指標となる。CSは、顧客（ユーザ）から定量的、定性的に収集する必要があり、これをサービスの改善につなげなければ、事業がなりたたない。例えば、アンケートなどを利用してユーザの意見を収集することができる。

ロボットサービスを提供できるようになると、ロボットを通じて、ユーザニーズを的確につかみ、サービスを改善していくことが可能になる。例えば、高齢者・障害者などのユーザに対して、サービスロボットがユーザの意見を聞き出すように対話をするとユーザが本当に欲していることを調べることも可能になる。スマートフォンには、ユーザにアプリケーションの感想を入力させる仕組みが導入されているが、ロボットならば、より深くユーザの気持ちを知ることができる。

ロボットのこの特長と事業化で知られている手法とを組み合わせて新たな価値を生み出すことも十分に考えられる。これまで世の中になかった価値を生み出す事業を行うシード、アーリーステージのベンチャー企業の間で、リーンスタートアップと呼ばれる手法が、成功確率をあげる手法として注目されている。これは、短期間にサービス提供するためのシステムプロトタイプを開発し、ターゲットユーザに試験的に提供し、その意見を収集して、プロトタイプの改良に反映させる、というサイクルを数ヶ月でまわし、次々とサービスとニーズの両方を同時に開発するものである。

このような手法をうまく機能させ、ロボットサービス事業を成立させるためには、（図2-25）に示したエコシステムの中で、矢印の上に位置する大学・研究機関、アントレプレナーコミュニティ、ベンチャー企業と、矢印の下側に書かれているユーザコミュニティとをつなぐ仕組みが重要になる。自らの問題を解決してくれるサービスを求めている人（人々）、あるいは、新しいサービスを試して、これまでになかったニーズを見いだせる人（人々）に、出会える社会的環境作りが必要である。最近行われている取り組みとしては、例えば、（公財）大阪市都市型産業振興センターが中小企業の商品・サービス開発に対してユーザの意見を収集する仕組みとして「サンソウカン de モニター会」を行っている。具体的な製品やサービスに対して、センターに登録されているモニター会員が直接意見する場を提供しており、モニターイベント、グループインタビュー、お試しモニター、などが行われている。これらの取り組みでは、モニター会を組織するところから始まっているが、既存の様々なユーザコミュニティと企業や大学・研究機関をつなぐ仕組みがあれば、ロボットサービスを普段から日常生活の中で試してもらうことも可能になり、よりリアルな意見が収集できて、本当に欲しいサービスにしていくことができるようになる。

（1）市民講座による社会的適応性・受容性調査

研究開発成果を社会に普及させるためには、将来のICTの進展を考慮した実証実験の推進策、社会的適応性・受容性の向上を図る課題の検討が不可欠である。先に紹介したユビキタスネッ

トワークロボットの実験についても市民講座を2012年1月及び2013年1月の2回京都府けいはんなプラザで開催し、ユーザだけでなく市民の立場からの受容性を調査した（図2-31）。市民講座では研究成果をわかりやすく概説する講演と開発中のロボットサービス実証実験を市民の方に体験してもらい市民の立場、ユーザの立場、将来のユーザの立場から意見を収集した。毎回40名程度が参加し、第1回では、買い物支援ロボットサービスの利用希望は参加者の71%が、65歳以上の人20名の75%が便利と感じていただいた。不便と感じた方は若い人にはロボットの応答が遅いという意見があった。第2回は手動車いす、電動車いす、開発した電動車いす型ロボットの3種類すべてを参加者全員に体験してもらい、電動車いす型ロボットに対して最も安心・安全であるという意見が多く、かつ電動車いす型ロボットは遠隔操作者との対話機能があるため、できることならば、ロボットと会話をしたいという希望が多くあった。

図2-31　2013年1月に開催されたロボットサービスに関する市民講座の様子

（a）市民向け技術解説

（b）電動車いす型ロボット体験

2.4.6.　まとめ

本節において議論してきた社会におけるサービスロボットの意義・必要性を次の3点にまとめる。

1. 超高齢社会において人（人々）のアクティブな生活支援・社会参加を促進するために、物理的・情報的なアクチュエーションサービスを提供する開発環境インフラ作りを急ぐ必要がある。
2. ロボットの普及促進とコストパフォーマンスの改善するために、サービス業にロボットを利用することで、1つのサービスロボットシステムが複数のサービスに連鎖的に提供（再利用・利活用）できるようになる開発環境インフラ作りを急ぐ必要がある。
3. 高齢者・障害者などのターゲットユーザや税負担を伴う市民の意見を簡単に集められ、サービス改善・改良を早く・安く実現できる開発環境インフラ作りを急ぐ必要がある。

ロボット、及びロボットサービスによって、高齢者・障害者を含む多くの人々の自立的な生活が支援され、アクティブな社会が形成されることは想像に難くない。ロボットサービス事業において、最も難しいとされているコストパフォーマンスについても、ロボットそのものの価

格は、10年前と比べると低価格化が進んでおり、例えば2003年には小型ヒューマノイドロボットが数十万円の価格帯であったが、現在は約10分の1以下の価格帯になっていることも考えると、普及は間近に迫っている。すでに示したようにサービスロボットを複数のサービスで利用できるようにして、ロボットの価値と効率を高くする工夫によって、コストパフォーマンスの問題は解決できると考える。課題はそれらの開発が、「早く」「安く」「グローバルに通用する良いサービス」を開発できる国家的な仕組みをいち早く構築することでありこの分野の市場創出の鍵になる。

サービスロボットの安全基準が決まりつつある動向を考えると、これからは、これらのロボットを使ったサービスをできるだけ多く提供できるかが、サービスロボット普及の鍵となる。すなわち、ロボットサービス開発者、Webサービス開発者、スマートフォンアプリ開発者など、多くのサービス開発者を巻き込んで、スマートフォンアプリのように数十万～数百万種類のロボットサービスアプリがあり、クラウド環境で自分の周りのサービスロボットを自由に使える社会になれば、人々の暮らしと社会にイノベーションが起こるだろう。

参考文献

[1] 萩田 紀博, “ネットワークロボット，その人と街とのかかわり：〔社会とのかかわり〕2. ネットワークロボットの広がり-あなたはどのロボットサービスを選びますか？-,” 情報処理, Vol.54, No.7, pp.690-693 (2013-06-15).

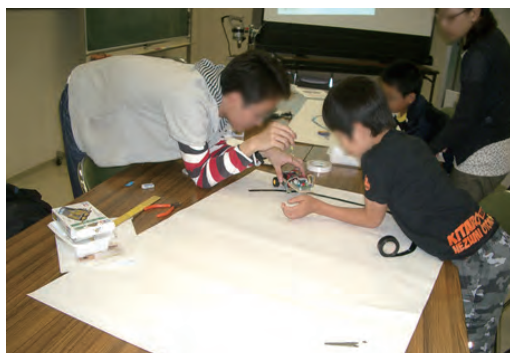
2.5. 教育におけるロボットの意義・必要性

2.5.1. ロボット教育を取りまく状況

日本の科学技術の将来を担う子供たちの「理科離れ」あるいは、「理工系離れ」が指摘されるようになって久しい。様々な分析（科学技術白書、文部科学省科学技術指標）から、日本だけではなく、他の先進国でも深刻な状況になっていることが明らかになっている。その対策として、米国ではNSF（米国科学財団）が主導して、STEM（理工数学系）教育プログラムの充実が図られている。日本国内でも文部科学省が中心となって、理科離れ対策が数多く実施されてきた。また、第4期科学技術基本計画でも、次代を担う人材の育成として、科学技術教育の推進が述べられている。一方、日本は、現在、少子高齢化が急速に進んでおり、日本の国際競争力を支えてきた高度科学技術人材、ものづくり人材が急速に減少しつつある。また、科学技術白書によれば、日本人の科学技術への関心、理解度が大幅に低くなってきているという現状がある。こういった状況の中で、理科離れ対策、ものづくり人材育成の手段として、ロボット教材の活用やロボット工作教室（図2-32：小中学生向けロボット工作教室の例）の開催といったロボット教育が注目を集めてきた。また、国内各地では、ロボットコンテスト活動やロボッ

トホビー専門誌が発行される等、一般社会におけるロボットの人気も高い。

本節では、ロボット教育の現状を述べつつ、その教育的意義と現状の問題点、今後の方向性について述べる。なお、ロボット教育の定義は、ロボット自身の定義がロボット研究者間でも定まっていないことから、様々な意見があると考えられる。ここでは、具体的な定義にこだわらずに、教育を実施している教育者や学習者がロボットであると捉えている教材を活用している教育活動や人材育成活動をロボット教育であると考える。また、ロボット教育と言えば、ロボットを活用した教育活動とロボット学の教育の二つの方向性があるが、本節では両者を取り上げていく。

図2-32　ロボット工作教室の例

2.5.2.　ロボット教育の意義と必要性

ロボットを用いた教育は、人間の持つ動きや形に対する認知のメカニズムに強く働きかけることから、学習者に強い印象を与えることができる。結果として、出力されるロボットの動作も、理解しやすいという特長を持つ。また、ロボットは、思った通りではなく作った通りに動作することから、学習成果のリアルな評価を容易に実現できる。さらに、ロボット技術は、コンピュータからモータ制御、センシング技術、機械要素といった横断的、総合的な技術の結晶である。そのため、課題発見能力、自己解決能力を涵養するPBL（問題解決型学習）法等により、複数の要素技術を統合し、統合したシステム全体を最適化する能力を身につけさせる構成論的な教育に適しているといった特長がある。そのため、小中学生を対象とした理科教育から企業の技術者の教育まで、幅広く活用可能な教育教材、教育手法を実現できる。さらに、ロボットコンテスト活動の多くは、グループで行う製作活動を中心としており、協調作業のスキル獲得やリーダ人材教育にも適用可能である。その教育目標も、前述の理科離れ対策や科学技術を身近に感じてもらうための科学技術啓蒙活動に始まり、運動やエネルギーといった物理現象、機械の仕組みの理解、さらに進んだ工学教育へと設定が可能である。科学技術教育の充実が検討されている中、ますますロボット教育の重要性が増していくと思われる。

社会に目を向けてみると、今後、サービスロボット等の人間と活動環境、作業環境を共有するロボットが普及段階に入った際には、これまで工学教育を受けた専門技術者のみを対象として行われてきたロボットの操作、運用技術を学ぶロボット教育が広く必要とされてくることが予想される。例えば、福祉ロボットを利用する介護福祉士やロボットを活用したい町工場の作業員を対象としたロボット教育が必要となるであろう。また、町中をロボットが走り回るようになった場合には、一般人もロボットが日常にあるという暮らし方、ロボットリテラシーといったものを身につけてもらう必要がある。現在の自動車等と同様に、ロボットの前に飛び出さ

ないという認識を社会全体に行き渡らせるようにするための社会普及のためのロボット教育の方法論が必要になってくるはずである。

さらに、産業界におけるロボット教育について考えてみると、ロボット技術は、電機、自動車、産業機器、IT関連機器等の基幹技術の一つであると同時に、自動車部品から食品製造等の様々な生産、製造設備を支える技術でもあることがわかる。これらの機器は、様々な周辺機器と統合されて活用されることが多く、これらの機器を開発する人材には、工学技術の理解だけではなく、様々な技術を統合できる能力と幅広い技術的知識も要求される。今後、ロボットは、福祉介護等のサービス分野への適用も期待されている。これらを合わせて考えると、これから産業界では、産業機器の要求仕様や福祉、介護等のサービスを構成する個々のニーズを吸い上げ、それを工学的問題に翻訳し、利用可能な技術を統合することによって解決できるロボットインテグレータ、あるいはRTSP（ロボットテクノロジー・システムプロデューサー）といった人材が必要になってくるはずである。これらの人材育成、学習にはロボットによる教育、ロボット学の教育を欠かすことができないはずである。なぜなら、ロボット自身が、様々な技術が高度に統合され、最適化された機器であり、その開発及び運用を体験することがロボット技術のインテグレーションを学ぶことにつながるからである。

2.5.3. ロボット教育市場の現状

現在の所、ロボット教育市場として認識されているのは、主に学校教育現場やロボット工作教室等のロボット関連イベントであろう。低価格の初学者向けの移動ロボット教材から、センサやプログラミング能力を備えた高度な工学教育用教材に至るまで、様々なロボット教材が開発され、販売されてきている。もちろん、実物の産業用ロボットもロボット教育に盛んに活用されている。また、全面実施されるようになった新学習指導要領でも、理数系教育の充実が謳われており、運動とエネルギー、電流とその利用、プログラムによる計測・制御といった項目の学習に適したロボット教材の販売も行われている。また、教育のIT化の流れも、これに拍車をかけている。

しかしながら、小中学校から大学までの学校教育の現場で、競ってロボット教材が購入され、活用されているわけではない。ロボット教材を扱える制御分野の教員が少ないこと、学校予算が潤沢ではなく、低価格の教材しか購入できないといった懐事情が原因である。そのため、決して現状のロボット教育市場は、大きいものではない。さらに、高度な技術を必要としないロボット教材は、いわゆるロボット先進国以外でも容易に開発が可能で、低価格な製品が続々と現れてきているという現状がある。

一方、社会におけるロボット教育の関心の高まりを表す例として、ロボット関連の代表的な国際会議のひとつであるIROS2010において、ロボット教育に関するシンポジウムが併催行事として開催されていることがあげられる。ロボット研究者の多くが、大学等の教育機関に所属しており、研究者としてロボットに対峙すると同時に、様々な工学教育に携わっていることからロボット教育に興味を持たれていると同時に、ロボット技術応用の可能性の一つとして認識

され始めていることを示していると思われる。このシンポジウムでは、LEGO社のMindstormを使った教育分野への世界戦略、National Instruments社のLabViewとの連携による、より高度な技術者教育への展開が説明された。初心者から、高度技術者の技術教育に至るまでの階梯を用意することにより、継続的かつ大規模に教育プログラムとして採用されやすくなると考えてのことだと思われる。また、近年では、IROS2013の併催行事のひとつとして日本ロボット学会主催のIRH(International Robot High-School)2013の開催もあげられる。こちらは、主に海外を含む高校生を対象とした高度ロボット技術を学ぶ短期間の講習会である。海外3カ国を含む100名を超える高校生の参加があった。

先程、述べたように日本でも多くの企業が、教育用のロボット教材の販売を行っている。その中で、注目すべきなのは、教育カリキュラムや教本とセットでロボット教材の販売を行っている一部のベンチャー企業である。単にハードウェアのみの販売ではなく、対象とする学習者や学習内容を明確にした教材として販売されている。とりあえずモータやセンサがついた“ロボットっぽい”教材では、何に使えるのか、どうしてこのような設計になっているのかが考えられていない教材とは一線を画している。また、工作教室やロボットコンテストといったロボットイベントの運営ごと販売している企業もある。これは、企業にとってはユーザからの製品のフィードバックを得やすいというメリットがあるからである。これらは、学校カリキュラムやロボットイベントの需要がどこにあるのかを明確に意識して開発された製品が市場に求められているのと同時に、教育者、イベント実施者の方も全員が全員、ロボット技術に明るいわけではないことを示している。もちろん、ロボット教育市場として見逃してはならないのは、学習塾等の動きである。学習者の勉学意欲向上のための手段としてロボット教材を用いる所が現れている。

2.5.4.　ロボット教育活動の概観

近年、全国各地でロボットコンテストやロボット工作教室が継続的に開催されるようになってきている。小中学生を対象とした大会から、大学生、企業の若手技術者を対象としたコンテストまである。例えば、小中学生を対象としたWorld Robot Olympiadがある。この大会の特長の一つは、参加者の年齢や戦歴が上がるにつれ、より上位の大会に参加できるような一連のステップアップの仕組みが用意されていることがある。この大会は、LEGO社が協力し、バックアップを行っており、地方予選、国内大会、世界大会といった階層的な競技体系を作り上げている。これにより、マンネリ化を防ぎ、新規ユーザが参入しやすい環境を作り上げている。また、ABUアジア・太平洋ロボットコンテスト、IDCロボットコンテスト大学国際交流大会、アイデア対決・全国高等専門学校ロボットコンテスト（高専ロボコン）等の大規模に行われているロボットコンテストがあり、それぞれ強力なスポンサーシップの元、継続的に開催されており、これからの経済成長を担うグローバル人材の育成に効果があると期待されている。

また、工学系の学会や企業の主導で行われているロボットコンテストとしては、日本機械学会が主催するロボットグランプリ、日本ロボット学会が主催する知能ロボットコンテストや、

レスキューロボットコンテスト等がある。ETロボコンのように企業の技術者が参加する大会もある。これらの活動は、様々な企業や独立行政法人科学技術振興機構の科学技術コミュニケーション推進事業等からの援助により支えられているが、継続的な財源確保が常に問題となっており、毎年綱渡りで実施されている所も多い。参加チームを指導する指導者や大会の運営を担う人材の育成と確保も大きな問題となっている。また、これらのロボットコンテストに参加するロボットは、いわゆるノウハウの塊のようなところがあり、ノウハウを引き継いでいる"常連"グループの参加のみに偏っていく傾向がある。初心者用の大会やステップアップのための階梯を設けることにより、新しい参加者を呼び込み、継続的な活動を維持するための努力が続けられている。

工学系の学会活動として、ロボット教育関連の活動も行われている。日本機械学会ではメカトロニクス教育研究会、日本ロボット学会ではロボット教育研究専門委員会等がある。ロボット教育の体系化の試み、工学系雑誌におけるロボット教育論文特集号の実現、ロボット教育シンポジウムの開催、学術講演会におけるロボット教育セッションの企画、上記のロボットコンテストの運営等の活動を行っている。近年では、学術団体としての社会貢献の一環として、学会主催以外のロボット教育活動への協力活動も行われている。自治体や小中高校等といった、直接的にロボット関連の学術団体とのコネクションを持たない所へのアプローチも始めており、ロボット教育の拡大に貢献している。

2.5.5. ロボット教育のあり方

これまで、ロボット教育の意義やロボット教育活動の盛り上がりについて触れてきた。しかしながら、教育という側面から見るとロボット教育にどのような教育効果があるかわからない、単に体験して終わりになっていないかとの批判を受けてきている。確かに、遊びの延長線上にあるようなロボットコンテストもあると思われるし、体験そのものの学習効果も判別し難い。特に、学習者が子供の場合、成長期でもあり、ロボット教育の効果が判別しにくいという事情もある。さらに、ロボット教育を効果的に使える学習手法であるPBL等の問題解決型教育手法を用いた場合、技術的な問題に対して付け焼き刃的、場当たり的な解決手段をとる習慣がついてしまうという意見がある。抜本的、理論的な解決を探索しようとしない、探索するためのスキルも身に付かないという指摘である。これでは、企業における技術開発を担う人材としては問題がある。これらの原因は、ロボット教育が様々な学習者の教育レベル、前提知識、動機に対応可能であり、多様な学習目標が設定可能であることに起因すると思われる。万能であるが故に、対象者を厳密に限定することなく様々な教育レベルにある学習者に対して適用可能で、かつ様々な教育効果があるため、統一的な教育効果の判定も困難である。その結果、ロボット教育は、どのような学習者に対してどのような教育手法が効果的なのかが深く検討されない、どのような教育効果が上がっているかを評価されないという状況を作り出してしまっている。そのため、教育手法としての体系化がなされておらず、常にロボット教育を実施する個々の教育者の独自の工夫や経験の蓄積に頼って行われているのが現状である。

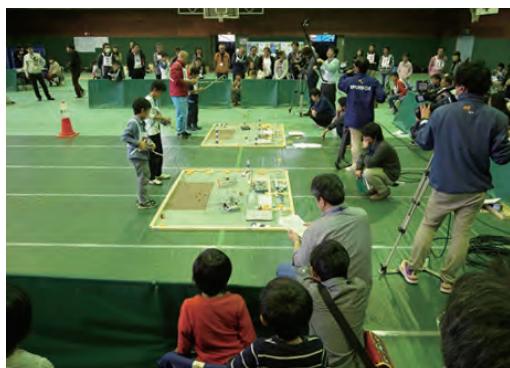
しかしながら、2.5.1節で述べたように、我が国でもSTEM教育の充実が急務である。さらに、2.5.2節で述べたように様々な産業現場や広く社会にロボットが普及していくときには、様々な学習段階にある学習者に、組織的なロボット教育を行う必要がある。そのため、ロボット教育の体系化と学習科学の側面から教育手法としての評価と、そして教育手法としてブラッシュアップしていくための仕組みを取り入れていく必要がある。多くの場合は、「独自の工夫」には、ロボット教育全体で共通する部分（手法、効果、解決できる問題点等）があると同時に、学習目標や教育対象に合わせて構成すべき項目があると思われる。これらを明確にすることがロボット教育の体系化につながるであろう。また、工学系雑誌におけるロボット教育論文の掲載やロボット教育手法の収集と公開を行うWebサイト等によるロボット教育情報の収集と公開によって、ブラッシュアップのためのPDCAサイクルを回すことも効果的であると思われる。

また、教育手法の開発や教育効果の評価といった話題は、日本教育工学会、日本工学教育協会、日本産業技術教育学会等の教育関連学会で議論が行われている。また、教育手法や教育効果の評価のより具体的、学術的な側面は、日本認知心理学会や、海外ではThe journal of the learning sciences, Cognition and instruction等の雑誌で発表されている。前者の学会は、主に小中高校や大学の教育学部の教員が参加している。後者は、学習科学や認知心理学的な立場からヒトの学習理論に関する研究を行っている研究者が参加している。これらの人々の中には、ロボット教育を実施している教育者もおり、教育学や教育手法の専門家でもある。しかしながら、ロボット技術者、研究者ではないため、ロボットの技術的側面の理解度は低い。一方、ロボット技術を学んだ工学系の教員は、確かにその技術的側面を理解しているが、上述の教育関係の学会に参加することは、ほとんどないと思われるし、また教育学や学習科学の成果を参照することも稀であると思われる。相互の交流が必要であろう。

2.5.6. これからのロボット教育

前節で述べてきたように、ロボット教育の問題点の解決手段に加えて、今後は、次の三つの方向性がロボット教育にとって重要となってくると思われる。一つ目は、異分野のコミュニティを活用することによる人材育成の試みである。代表的な例としてあげられるのが、地域コミュニティによる若年層を対象としたロボット教育活動である（図2-33）。近年失われてしまったと指摘される地域でのコミュニティ活動を若年層への教育を中心に再構成するのである。現在の町内会組織のような、そこに住む人だけで閉じた組織ではなく、地元の企業や放送局等を巻き込み、地域全体の交流活動として位置づけることが効果的である。従来から行われてき

図2-33　地域コミュニティを活用したロボットコンテスト活動

第2章

たロボット工作教室等のロボット教育活動を強化する形で行うことが可能であろう。ロボットという技術を主題に据えることにより、従来、参加が少なかった父親の参加が促されるという効果が期待できる。また、教育効果として、単に技術者の卵を育てる、技術を体験するにとどまらず、科学技術を受け入れる心、姿勢といったものを広く参加者に教えることが期待できる。これは、科学技術に対する信頼を醸成すると同時に、科学技術の持つ危険な側面を直視し、評価できる姿勢を育てることが期待できる。単発のロボット工作教室では、主として体験して終わりということになりがちな点を改善し、活動に関わる人間の範囲を広げ、内容を深化させることにより、学習者の視野を広げ、多様な社会のあり方を学ばせることができるようになるはずである。また、活動そのものの継続性を高めると同時に、地域のものづくり、ことづくりにつながる触媒にもなる可能性がある。

異分野のコミュニティを活用する教育活動としては、経済産業省の「産学連携製造中核人材育成事業」や文部科学省の「産学連携による実践型人材育成事業」も注目すべき取り組みである。企業のみを対象とした人材育成事業ではなく、大学等の教育機関を取り込み、人材育成の活動を行っている。企業の人材の必要性と大学等教育機関の人材育成とのミスマッチが指摘されることも多いが、それを解消する一手段でもある。企業と教育機関での人材育成の好循環を形成していくことが期待できる。これらのプロジェクトは、現在の所、ロボット教育を積極的に取り入れているわけではないが、例えば学術団体等を巻き込み、ロボット教育を有機的に結合することによりRTSP人材育成やものづくり、ことづくりを強力に押し進めることのできる人材育成へと進化することを期待することができる。

二点目は、社会実装という視点のロボット教育への導入である。第4期科学技術基本計画に係わる様々な資料に「技術の社会実装」という視点が指摘されている。これは、技術開発の最終目標は、開発が終了することではなく具体的な社会的課題が解決されているかを評価しようとする考え方である。これを工学教育に取り入れることにより、学生の学習意欲の向上及び学習成果の評価を、よりリアルにすることができる。その結果として、学生の社会背景への考慮や実世界応用を意識したものづくりへと誘導することができる。これまで、ロボット工作教室や課題解決型のロボット教育では、教育者が設定した課題を解決することが目標となっており、評価も教育者により行われていた。これを社会が抱える問題解決が課題となり、課題解決そのものが評価結果に直結するシビアな評価とすることができる。すでに、文部科学省「大学間連携共同教育推進事業」の一つとして、7高専が共同で社会実装を意識した教育プロジェクトが2012年度にスタートしている。また、一部の大学でも社会実装を意識した演習授業や卒業研究の試みが始まっている。

最後の三点目は、シニア人材活用である。文部科学省の平成18年度科学技術白書において、将来、日本の少子高齢化が技術者・技能者の人材不足を招くことがすでに指摘されており、年齢にかかわらず活用できる人材の確保と働ける環境の整備が求められている。これは、学校教育の現場はもとより、企業における人材育成の現場で非常に深刻な問題である。現状の日本の状況では、この問題に対してはシニア人材活用しか解決策はあり得ない。シニア人材の持つ、

人間力、知識、経験を次世代の技術者に伝承していく道筋を確立する必要がある。ロボット教育には、多方面の技術に明るい技術者が有用であることから、多くの経験を持つシニア人材の有効活用が効果的である。先の地域でのコミュニティ活動の例でも、地元中小企業のシニア年代の技術者の協力が欠かせないものになっている。現在、日本機械学会を中心に、シニア年代の会員と中小企業、教育現場とのマッチング事業が開始されている。また、日本ロボット学会でも、ロボット教育へのシニア人材活用のプロジェクトが始まっている。しかしながら、双方とも今ひとつ伸び悩んでいるところがある。このような取り組みは、広く知られることによって相乗的に効果が増していくため、学術団体の枠を超えた大きな取り組みが必要であろう。

最後に、教育を必要とする若年層は、常に生まれてくる。そのため、単発の教育プロジェクトではなく、継続的な人材育成の仕組みを作ることが重要である。教材のような「もの」だけあれば教育が出来るのではなく、教育の仕組みを創ることが重要であることを指摘しておく。

2.6. まとめ

第2章ではロボット利用の意義、必要性、取りまく環境について、多方面の視点からまとめた。搬送や清掃の分野では新しいサービスロボットの市場ができつつあり、国や地域で連携したロボットの取り組みも常態化してきた。イベントにおいても使うシーンを想定したロボットの展示が増えている。ロボットの応用は広がりつつあり、家電、自動車や医療機器などにもロボット技術を取り入れたものが多くみられるようになり、新しい産業になりそうな勢いである。これらはロボットの開発環境がまさに整備されて来たことにより、新たにロボットに参入しようとする動きを表している。高品質のものづくり、医療、福祉、災害などに向けた新しいサービス用ロボットの市場が作られつつある。一方で、産業用ロボットでは、いまだ世界トップであるが、諸外国に追いつかれつつある。実用化に関しては、話題は米国からのものが多いなどの現状があり、我が国として見通しを持った骨太な方針が求められている。

産業用ロボットにおいては、高い技術力や製品信頼性を向上させるとともに、教示レス化や新しい分野への応用、ロボットによる新しい生産方式が期待されている。

サービスロボットは人の生活を支援し活力ある社会を築くために、ネットワーク技術とうまく融合したモデルの形成が重要である。たくさんのアプリケーションができ、ユーザのニーズに応じたサービスを早く、安く提供することができるようになれば、その効果は計り知れない。まさにそのようなプラットフォームの完成を急ぐべきである。

また、教育は人材育成の観点から、あらゆる分野において産業や社会を支えるものである。ロボットを題材とした教育、教育体制は、課題解決能力の向上ばかりでなく、異分野交流、ロボット技術の社会への普及、シニア人材による技術伝承も含め、欠かすことのできないものである。

第２章執筆者

ワーキングメンバー本文執筆者

松日楽　信人　　芝浦工業大学 工学部 機械機能工学科
琴坂　信哉　　埼玉大学 大学院 理工学研究科人間支援・生産科学部門（工学部 機械工学科）
萩田　紀博　　ATR社会メディア総合研究所長 知能ロボティクス研究所
横山　和彦　　株式会社安川電機 技術開発本部 開発研究所 つくば研究所

コラム執筆者

2-1

横山　和彦　　株式会社安川電機 技術開発本部 開発研究所 つくば研究所

3 産業用ロボットの現状と課題

日本のロボット産業は普及元年と言われる1980年から急速に立ち上がり、以後、供給・需要の両面でロボット大国であり続け、その発展形態は日本の製造業の変化と強く関わってきた。リーマンショック以後ロボット産業は極端な外需依存型産業に変貌しており、現在の日本の製造業が直面しているグローバル競争の厳しい試練を色濃く反映している。本章では、日本の製造業の変化と製造業用ロボットの発展形態をたどりつつ、現在のロボット産業の課題分析と将来への期待について述べる。

3.1. 市場の状況と課題

2013年の日本のロボット産業はリーマンショックからもすでに立ち直っており、生産・出荷とも高水準を維持している。しかし、リーマンショック以後顕著となった産業用ロボット市場のグローバル化とそれに伴うロボット産業の国際競争激化のきざしは、これまで需要側でも供給側でもロボット大国であった日本に変化点が訪れていることを示唆している。

3.1.1. ロボット産業の市場の変化と課題

ロボット産業と製造業の変化を関係づけることにより、日本の産業用ロボットの発展経緯を分析し、現状産業用ロボットが抱える課題と今後の期待をサーベイする。

（1）日本の製造業とロボット市場の変遷

日本の製造業の生産総額と産業用ロボット出荷台数の推移を（図3-1）、GDP総額、GDPにおける製造業の寄与、製造業従業員数の推移と生産効率の推移を（図3-2）に示す。起点とした1952年はGHQ（連合国総司令部）が退去し日本の主権が回復された年である。まず、日本の製造業の60年の歴史とその半ばから始まった日本のロボット産業の30年の歴史を重ねあわせ、日本の製造業における産業用ロボットの果たした役割と現状、今後の課題について概括する。

日本の製造業60年は、戦後の復興開始から世界の経済大国に追いつくまでの高度経済成長期20年、さらに製造業立国として世界経済をリードするに至るまでの安定成長期20年、バブル崩壊後の試練の失われた20年と3つの期間に区分される。高度経済成長期と安定成長期を通じて、製造業の生産総額とGDP総額は右肩上がりの順調な推移を見せたが、その後失われた20年で停滞した、というのが60年間の全体像である（図3-2では社会生活実感に近い名目GDPを用いている。失われた20年はデフレ傾向であったためこの期間の実質GDPは、若干の右肩上がりになっている）。

A）戦後の高度経済成長期の製造業

高度経済成長期は1954年末から第一次オイルショックの1973年までのおよそ20年間である。1964年の東京オリンピック、1968年のGDP世界第2位達成、1970年の大阪万博などの出来事を経験しつつ10%を超えるGDP成長率が続き、「明日は今日より必ず豊かになる」という実感のある時代であった。この期間中のGDPにおける製造業寄与率は30%を超えており、設備投資や人員拡大も進み、製造業が日本経済を牽引していたことは明らかである。この期間に製造業の現場では、機械化が進み、大量生産における日本の優位性が確立した。

米国Unimation社と技術提携した川崎重工業で1969年から極座標型の油圧ロボットの商業生産を開始したのが日本の産業用ロボットの黎明である。当初、自動車のスポット溶接に使用され、導入現場は一部の自動車メーカに限定されたものであったが、ロボットへの期待は膨らみ、1972年に「日本産業用ロボット工業会」が任意団体としてスタートしている。

図3-1　製造業出荷総額と産業用ロボット出荷台数の推移（[1] [2] のデータをもとに作成）

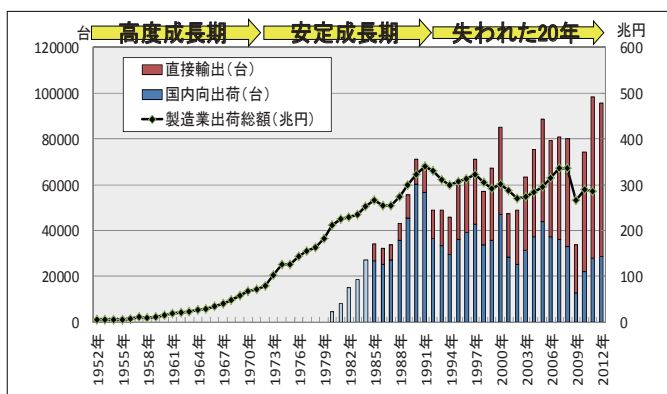
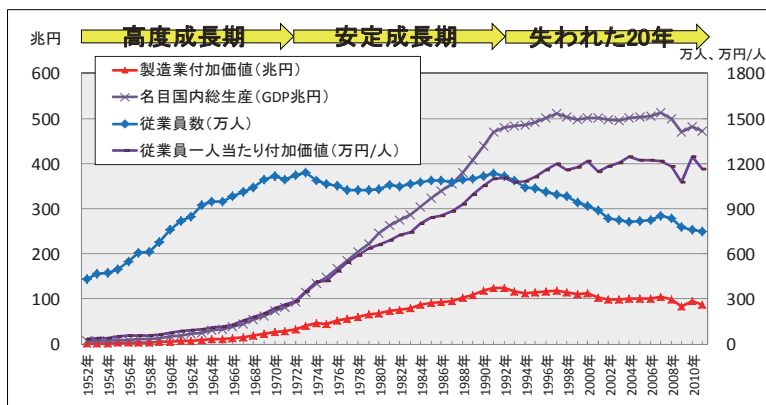
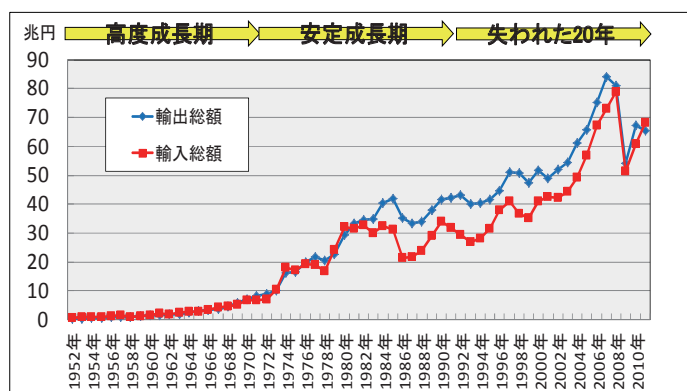



図3-2　名目GDPと製造業付加価値総額、従業員数と付加価値生産性（[2] [3] のデータをもとに作成）

B）安定成長期の製造業とロボット産業

1973年の第一次オイルショックで、製造業は拡大路線から合理性路線にステアリングを切った。（図3-3）では製造業の生産額は安定成長期を通じて右肩上がりを実現しているように見えるが、実は1973年の第一次オイルショックと1979年の第二次オイルショック時には極度の物価高騰が起きており、生産額を見掛け上、押し上げている。実質的には1980年ころまでの製造業は伸び悩みは深く、経営の合理化努力に奔走しているのが実態であった。この合理化努力を背景として、産業用ロボットは製造業に受け入れられた。

図3-3　日本からの輸出総額、日本への輸入総額の推移（[4] のデータをもとに作成）

製造業の合理化努力は産業用ロボット普及の社会的背景であるが、技術的背景としては、1970年代半ばから急速に普及し始めたマイクロプロセッサと、技術的に成熟してきたサーボモータがある。これらの技術シーズは、電動型の産業用ロボットを普及可能な価格帯で実現した。ロボット工業会の命名による1980年の「ロボット普及元年」からの産業用ロボット市場は急成長する。実は、この社会の合理化要請と技術ニーズの一致は、ロボットのみならず、あらゆるプログラマブル自動化機器の急成長に結び付いている。したがって1980年は、実際には「プログラマブル自動化機器普及元年」ともいえる。

1980年からバブル崩壊前の1990年ころまでが日本経済の本質的な安定成長期であり、日本の国際的経済地位を高め貿易黒字をもたらした（図3-3）。製造業の自動化は、従業員数の拡大を伴わずに生産量拡大と、生産効率向上を実現したことを（図3-1）、（図3-2）から読み取れる。産業用ロボットは自動車産業の溶接用途への適用を中心として、日本の優秀で意欲的な生産技術者による適用努力に支えられ、市場の急成長に結び付いた。

C）失われた20年前半（失われた10年）

1990年代初頭のバブル経済崩壊は、「高揚し過ぎた経済が沈静化した」という単純なことではない。その後が失われた20年と称されるように、日本経済停滞期への本質的な曲がり角で

あった。ただし、失われた20年は前半の10年と後半の10年では様相が異なる。最近まで、前半の10年を失われた10年、後半の10年は経済回復期と見られていたが、リーマンショック後には、20年を通して失われた20年と称するようになった。

最初の10年、1990年代には名目GDPは停滞し、製造業の生産額も付加価値総額も減少傾向となり、それにともない従業員数も減少という負のサイクルに陥った。ただし、この時期は、パソコン等情報機材の急速普及期でもあり、製造現場の情報化も始まっている。図3-2に見られるように、失われた10年と言われつつも、実は従業員一人あたりの付加価値生産性は向上している。自動化に情報化を加え製造業の効率向上努力が続けられた成果であり、日本の製造業の底力がうかがえる。

ロボットの出荷台数はバブル崩壊直後に一旦激減したが、その後わずかながら増加傾向にある。バブル経済崩壊直後の製造業では、投資対効果の評価が徹底され、投資が慎重となった。これまで、意欲的にロボット化を進めてきたユーザーにおいても、用途の厳選化が進む。ロボット産業にとっては伸び悩みの苦しい時期であったが、ロボットの産業価値を明確にできた時期でもあった。ロボットに適する用途、専用機に適する用途、人手作業に適する用途、それぞれ冷静に評価するようになった。

なお、情報化社会を背景として、この時期に、ロボットの適用市場として、液晶・半導体などの、クリーンルーム用途が急伸している。

D) 失われた20年後半（ITバブル後の景気回復とリーマンショック）

失われた20年に入って減少傾向が続いた製造業出荷総額はITバブル直後の急減から、リーマンショック直前の2007年までは増加に転じている。当初はこの増加期間をもって景気回復と解釈していたが、なぜ後に失われた20年になってしまったのか。（表3-1）に好景気回復期と見られていた2002年から2007年の各種経済指標の変化を数値で示す。

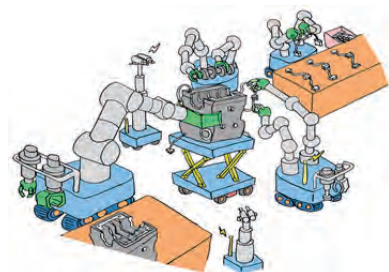
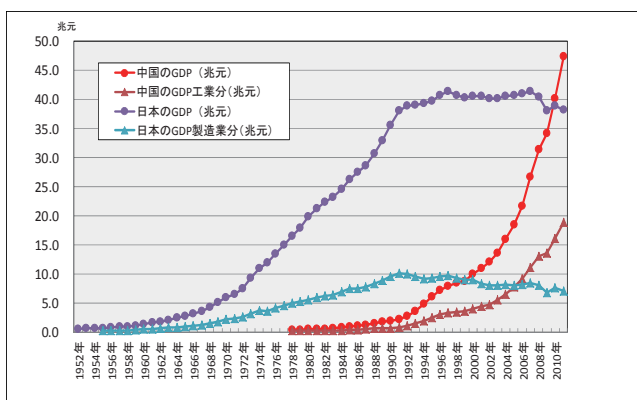



表3-1　2002年→2007年（ITバブル後の景気回復期）

	2002年	2007年	2007-2002年	2007/2002年
出荷総額（兆円）[2]	269	337	68	1.25倍
輸出総額（兆円）[4]	52	84	32	1.62倍
海外生産（兆円）[5]	65	111	46	1.71倍
中国GDP（兆元）[6]	11	27	16	2.44倍
日本GDP（兆円）[3]	491	513	22	1.04倍
製造業分（兆円）[3]	99	104	5	1.05倍
出荷総台数（千台）[1]	49	81	32	1.65倍
輸出台数（千台）[1]	23	45	22	1.96倍

まず目を引くのが中国GDPの急増である。ここで、（図3-4）に日本の経済指標と中国の経済指標の比較を示す。

図3-4　日本と中国のGDP総額と製造業分（[3] [6] のデータをもとに作成）

中国経済推移の背景には、

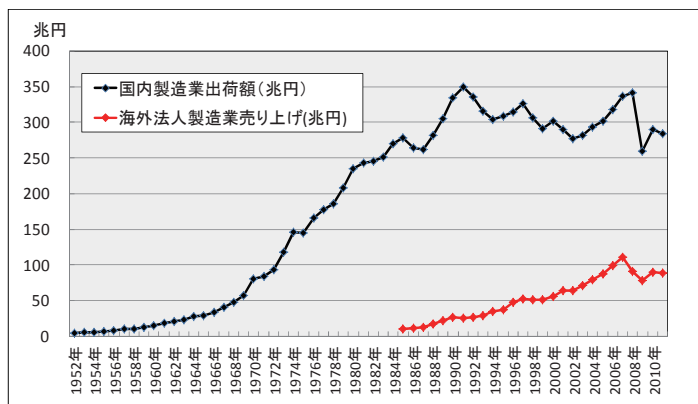
1992年：天安門事件後に計画経済から「改革開放」による中国的市場経済への移行を宣言

2001年：WTO加盟を果たし自由貿易圏参加、輸出拡大で「世界の工場」となる

2009年：リーマンショック後の内需拡大強化

といった、1990年代以後の一連の政策がある。2001年から2007年の中国経済は伸び盛りで、日本では、中国を中心に東アジアの製造業の急拡大を背景に、輸出と海外生産が増加した。これが景気回復と見られていた状況の正体である（図3-3、図3-5）。したがって、輸出産業を中心とした景気のため、自動車・電気電子といった基幹産業が限定的に恩恵を受けた。しかし、この構造では国内に富は蓄積されないため、図3-2に見られるように、GDPの伸長は思ったほどに大きくない。

図3-5　日本の海外法人製造業売上額推移と日本国内製造業出荷額の比較
（[2] [5] のデータをもとに作成）

第3章

一方、産業用ロボットの輸出台数は中国GDPの伸長に匹敵する増加率である。中国を中心とした旺盛なアジアニーズに牽引されて、他の工作機械などの生産財も同様の傾向であった。生産財産業全体にとっては市場の拡大という喜ばしい傾向ではあるものの、この傾向は裏返すと国内製造業衰退への不安に通じる。

（表3-2）に、リーマンショックをはさんで、2007年から2011年への諸指標の変化を示す。リーマンショックは2009年の世界経済を痛撃し、日本の製造業の出荷総額でおよそ20%減、GDPで10%減、生産財であるロボットの出荷台数に至っては60%減となった。しかし、意外と日本の復活は早く、2011年は日本では東日本大震災の影響が多少あるにしても、どの指標もリーマンショック前の80〜90%の水準近くまで回復している。

この期間でも、若干ペースダウンしたものの中国GDPの伸びと、ロボット輸出台数の伸長が目立つ。ただし、ロボットの輸出比率は55%から72%に急増し、国内向け出荷は減少している。ロボット産業は完全な輸出依存型に変貌した。

結局のところ失われた20年を通じて、製造業生産額、付加価値、従業員数ともに漸減している。日本の製造業が、市場としても製造拠点としても、東アジアへの依存が進み、国内に富を還元しにくい産業構造になってしまったことが、失われた20年とされる所以である。もっとも明確にその状況を表しているのが、この20年間下降の一途である（図3-2）の製造業付加価値総額である。付加価値総額の低下は製造業の活力減退に他ならない。また、（図3-2）の従業員一人あたりの付加価値生産性を見ると、前半は何とか向上し続けてきたものの、2004年ころから停滞基調に入った。力が尽きたようにも見える気になる指標変化である。

表3-2　2007年→2011年（リーマンショックの前後）

	2007年	2011年	2011-2007	2011/2007
出荷総額（兆円）[2]	337	285	-52	0.85倍
輸出総額（兆円）[4]	84	66	-18	0.79倍
海外生産（兆円）[5]	111	88	-23	0.79倍
中国GDP（兆元）[6]	27	47	20	1.74倍
日本GDP（兆円）[3]	513	471	-42	0.92倍
製造業分（兆円）[3]	104	87	-17	0.84倍
出荷総台数（千台）[1]	81	98	17	1.21倍
輸出台数（千台）[1]	45	71	26	1.58倍

（2）ロボット市場の質的変化

製造業の変化とロボット市場規模の関係を述べてきたが、ここでは、ロボット産業のニーズの変化や事業と技術の質的変化について分析する。

A）1980年代（初期成長期）

1980年代の初期成長期において、技術的には、DCサーボからACサーボへ、インクリメンタルエンコーダからアブソリュートエンコーダへ、制御CPUは8bitから16bitへと、要素機器の進歩がみられる。減速機・軸受け等の機械要素のパフォーマンス向上、ケーブル実装をはじめ各種の部品実装技術の確立、電子制御系ハードウェアのロバスト性の確立など、重要な要素技術も向上しており、ロボットを信頼性の高い生産財として定着した。また、情報処理技術によるところも大きく、各種モーション制御の実装、マルチタスク・マルチプロセッサによる実時間処理技術は、性能向上に大きく寄与している。さらに、プログラミング・プランニングツール、各種インテリジェントなセンサによる知能化、ダイナミクスを考慮した各種の制御補償などにも、すでにこの時期から取り組まれていた。

最初に市場全体を牽引したのは、自動車産業の溶接用途であった。その他、塗装、樹脂成形機からの取り出しなどが、ロボットに適する用途として市場を形成した。
ロボットメーカーは、速度や精度などの基本性能を追求し、ユーザーたる生産技術者はその用途を模索した。メーカー、ユーザーともに自動機械としてのロボットそのものに期待したのがこの時期の特徴である。

B）1990年代（用途価値の追求）

バブル経済崩壊とともに、製造業は設備投資に慎重となる。多くの日本の製造業は、不況時には、単に設備投資を控えるのではなく、厳しい投資効果評価に基づく投資を行うべきことを理解している。1980年代には必ずしもロボット向きの作業ではなくとも、何とかうまく使えないか、という試みも多く見られたが、1990年代に入り、確実にロボット向きの用途で、投資効果の明確な用途に厳選されることとなる。液晶・半導体製造装置用ロボットは人を嫌うクリーンプロセスというニーズと、この時期の設備投資拡大意欲を背景に適用価値の高い用途としてこの時期に定着した。

産業用ロボットには、プログラマブルな汎用機械としての期待と、融通の利く専用機としての期待がある。最初は汎用性を活かして様々な用途を模索するものの、有効な用途が見つかるとコストパフォーマンスの追求による専用化が始まる。市場規模が大きいほど徹底した専用化が進む。すでに用途として定着していた溶接用途でも、機器構成、機構構造、使用部品、制御方法などの専用化がこの時期にさらに進んだ。

ロボット言語に関する考え方もこの時期に変化している。1980年代のロボットメーカー各社はロボット言語の汎用性や記述能力を競う傾向にあったが、このころからは、ロボット言語の記述能力ではなく用途向きのヒューマンインタフェースを求める傾向が強くなった。例えば、アーク溶接の多層盛りやウィービングなどの独特の施工、パレタイジングの荷崩れしにくい積み付けパターン、これらをプログラミングしやすくするための言語体系を追求するのではなく、使用者が自然にプログラミングできる方法を求める方向に向かう。1990年代のパソコンやOS

第3章

の進歩も、用途向きのヒューマンインタフェースへの取組を加速し、プログラミングツールの実用性も高まってきた。

この期間は、市況的には停滞といえるが、実際には緩やかながら、バブル崩壊前の水準に回復していった。ただし、事業的には苦しいこの期間に事業撤退した企業も多かった。今振り返ってみると、この期間は、製造業における産業用ロボットの価値向上のために必要なステップであったかもしれない。

C）2000年代（市場構造の変化）

ITバブルと言われる2000年には国内外で液晶半導体などの集中した設備投資と海外の自動車関連設備投資に支えられ、日本のロボット出荷台数は過去最高の85,000台に達した。次の2001年には対前年比56%の激減となったが、その後4年ほどで年間80,000台前後の出荷台数まで順調に回復した。この期間の景気を支えたのは、輸出に強い自動車や電気電子産業であったが、これらの業種は産業用ロボットの得意顧客であったため、ロボット業界もその恩恵を受けた。この回復期の出荷台数と向け先の変化を（図3-6）に示す。2001年から2007年にかけて、先に述べたように中国の製造業の急伸に牽引されていたという割にロボットの直接輸出の伸びは40%台から50%台へと思いのほか少ない。しかし、このころから、日本国内の熟達したロボットシステムインテグレーターには海外向けシステムの受注が増え始めている。要するに、中国などの現地では、まだロボットを用いてシステムを組めるシステムインテグレーターが未発達のため、日本国内でシステムを完成させ、それを現地に輸出する間接輸出が増えていた。

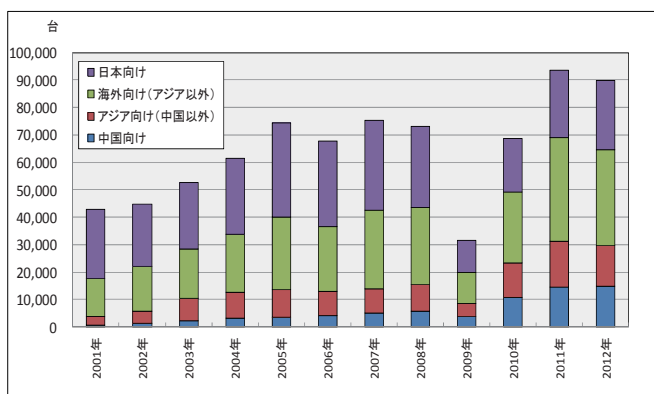
一方、日本国内には、海外生産依存への危機感もあった。労働コストの安い海外での生産への期待が大きくなる反面、国内産業空洞化の危惧も大きくなる。日本国内には何が残るか、何を残すかという危機感から、一部の製造業では、より高度な生産にチャレンジする気運も高まった。ロボットの柔軟性を活かした自動化セル生産への取組などもこの時期から始まっている。

リーマンショックの影響をもろに受けた2009年には、ロボットの出荷台数対前年比42%という惨憺たる状況となったが、その後意外と早く回復している。ここで問題なのは、直接輸出比率が、50%台から一気に70%台になったことである。直接輸出比率は70%であるが、間接輸出も含めると最終向け先が海外である比率は、80%以上に達すると推定され、ロボット産業は完全な輸出依存産業に変貌してしまった。向け先としては、当然のことながら中国を中心としたアジア向けが急増している。中国では2000年代半ばから、資金力も人材も豊富な大手企業がまとめてロボットを購入して、自動化による省人化を図るような動きが強まった。リーマンショック後はこの自動化気運が、特定の大企業から徐々に産業全体に広がり、それに応じて、現地のシステムインテグレーターも力をつけてきた。

これらの、市場構造の変化はロボット産業の競争力に対する考え方にも変化をもたらした。ロボット産業は、1980年代には有望な自動化機器として期待され、1990年代には有効な用途を追求してきたが、2000年代に入り、競争力の着目点はシステムソリューションへと広がってきた。もともと単なるマニピュレータにすぎないロボットは、システムに組み込まれて初め

て、生産財として活きる。したがって、ユーザーの興味は、ロボットそのものの機能や性能ではなく、それによって「実現できる生産システムが目標とする生産能力を達成できるか」にある。システムインテグレーターの興味は、「千差万別なユーザーニーズに応え、いかに効率よいロボットシステムビジネスが展開できるか」にある。

ロボットメーカーにとっては機械としてのロボットの機能性能の向上は、必要最低限の条件をクリアしたに過ぎない。システムソリューションの重視とは、いかに最終的用途に合致するロボットを提供できるか、様々なシステムソリューションを実現する構成要素を提供できるか、さらに目的とするシステムソリューションを効率よく実現できる手段が提供できるか、といった視点を持つことにある。

図3-6　産業用ロボットの向け先別出荷台数推移（[1] のデータをもとに作成）

（3）2010年代のロボット産業への期待と課題

2010年代に入り、リーマンショックからの急回復により、日本のロボット産業は年間出荷台数10万台規模の過去最高水準を維持している。ロボット産業全体にとっては結構なことで、期待も大きいが、今後は過去30年とは異なる展開が予測される。

市場のグローバル化が一層鮮明な現在、ロボット産業の浮沈は世界の工業経済の動向に強く左右されることとなる。日本のロボット産業にとって現在の最大の関心は、グローバル化への対応とその必然的結果として予測されるグローバルコンペティションへの対抗である。

A）市場のグローバル化とグローバルコンペティション

リーマンショック前後は中国需要急増が顕著であったが、その後、日本及び欧米各国への製造回帰、東南アジアやインドなどの新興需要など、新たな動きも見えてきた。いずれにせよ世界需要の拡大は大いに歓迎されるべきものであると同時に、日本のロボット産業振興のためには、個々の企業の海外需要に対する取り組み強化に加え、業界全体でのグローバルフォーメーションのあり方も問われる。

一方、アジア圏では市場の拡大にともない、新たなロボット産業が動き始めている。すでに直交型や水平関節型ロボットの国産化が進んでいる韓国では、アジア需要拡大を見込んだ新たな製品開発の加速、台湾では中国大陸需要を見込んだロボットメーカーの起業が目につく。中国では、国策として製造設備技術の高度化を目指しており、国の支援を得たロボットメーカーの拡大や新興が相次いでいる[7]。またロボットの大口需要者による自前ロボットの開発も進められている。今後は中国製ロボットとの製品競争激化は避けられない。なお、中国機械工業連合会によると、「2012年時点で中国製ロボットは日本製ロボットの70%の性能であり、課題はキーパーツを輸入品に頼っていることである。国をあげてキーパーツの国産化を推進する。」とコメントしている[8]。機械製品は見よう見まねで組みあげると、60-70%のパフォーマンスは得られるが、現在の中国製ロボットはこの段階にある。日本としては残りの30-40%をいかに維持できるか、が課題である。少なくとも単なる価格競争に陥ってしまうと日本に勝ち目はない。あくまでもコストパフォーマンスとトータルコストに着目した技術力で優位性を保つ努力を続ける必要がある。市場のグローバル化については、3.1.2項にて議論を深める。

B）技術動向1：インテリジェント化

ロボット普及元年以前の研究室レベルの開発段階から、様々な作業をこなすことのできる「巧緻性・柔軟性」やセンサによる外界認識に対応した「知能化」は常に追求されてきた。製造業用途でも、「知能化」に関する多くの研究開発成果は発表されてきたものの、これまでは実適用事例は少なかった。現実のロボットの適用用途は比較的簡単な繰り返し作業が大多数であったため、切実な知能化ニーズも少なかったためである。本格的な「巧緻で柔軟性に富んだ知能化ロボット」の実用化は、ここ10年ほどで盛んになった。その背景として、研究開発成果の蓄積や、プロセッサやビジョンセンサなどのコストパフォーマンスアップもあるが、現実の切実なニーズが高まったことが最大の背景である。切実なニーズとは、一言で言うと、日本の製造業の国際競争力強化である。

失われた20年における日本産業の国際競争力低下は否めず、経済産業省による2010年6月に公表された「産業構造ビジョン2010」[9]では日本経済の行き詰まりを認識し、これから何で稼ぎ、何で雇用を確保するべきかという問題点が提起されている。多くの日本の製造業では、海外生産に頼ったり、国内でも単に安価な労働力を求めたり、ということは本意ではないという意識もある。国内の優良企業で「モノづくり推進組織」を設置し、国内外での製造のあるべき姿を求めようとする動きも、ここ数年のことである。

したがって、製造業の国際競争力の根源として、国内生産の高度な自動化への期待は大きく、従来避けてきた難しい作業のロボット化への取組は増えてきた。（図3-7）に、ロボットの適用分野と作業について、日本国内と日本を除く世界市場の比較グラフを示す。世界全体では依然として自動車産業の溶接が大きな比率を占めているが、日本では組立作業等の難しい作業や他の分野への適用努力が見て取れる。目標が難しければ難しいほど、ロボットメーカー、システムインテグレーター、エンドユーザー3者の協調共同推進が不可欠である（図3-8）。ロボッ

トは、半完成品ゆえ、目的生産システムを具体的に実現するのがシステムインテグレーション作業である。それを担うのがシステムインテグレーターである。最大の応用分野である自動車産業では、エンドユーザー側がシステムインテグレーション能力を持っていることが多かったが、応用分野が広がる、あるいはグローバル化拡大につれ独立したシステムインテグレーターへの注目度が高まっている。もともと、システムインテグレーション能力のないところにはロボット産業は普及しえない。システムインテグレーションについては3.1.3項にて議論を深める。

図3-7　日本市場と世界市場での産業用ロボットの利用分野と適用用途の違い
([1] [10] のデータをもとに作成)

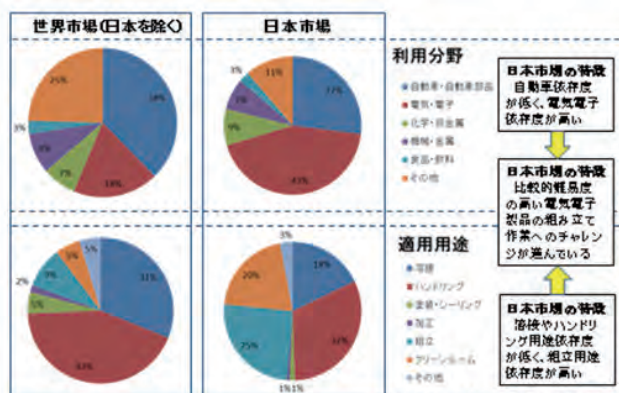
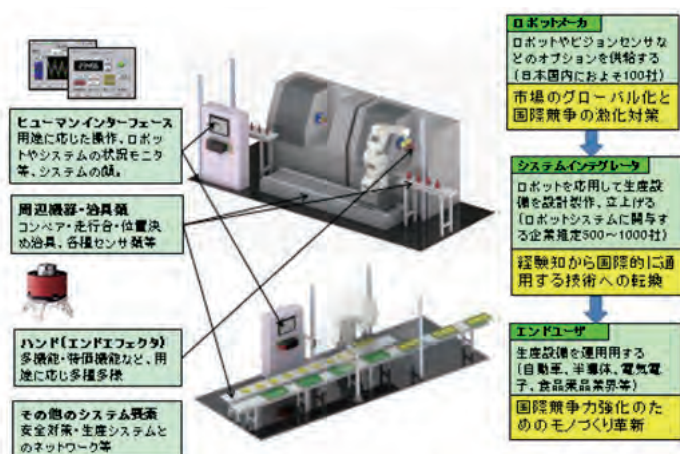



図3-8　産業用ロボットのシステムインテグレーションから見た課題

　変種変量生産を目指したロボットによる自動化セル生産への取組は、従来避けてきた難しい作業のロボット化への取組例である[11]。また、必ずしも完結したセル生産ではないにしても、省スペース省コストを目的として、コンパクトで集中的に複数作業を行うユニットにまとめることが求められている。

　過去、ロボットにとって難しい作業は周辺機器の能力に頼る、例えば部品供給位置がばらつ

く場合には位置決め治具を用いる、という選択にも合理性はあったが、セルのようなコンパクト集中作業システムではスペース的にも、コスト的にも正解になりえない。周辺機器に頼らず「巧緻で柔軟性に富んだ知能化ロボット」が必要とされる所以である。

周辺機器に頼らないためには、ラフな位置決めや多少のワーク誤差を許容するための視覚・力覚・触覚などによる外界の認識、作業状況をモニタしながら状況に応じた適応動作、狭隘なスペースで複数アームの高速巧緻作業を実現するための複腕協調制御や干渉検出・回避、などが実際の生産に適用されてきている。また、常に自動化では課題となる部品供給についても3Dビジョンによるランダムピッキングも広く利用されはじめている。また、これらのインテリジェント機能実現に欠かせないのが、エンドエフェクタの知能化である。複雑な複数作業をこなすマルチパーパスなハンドをどう構成するか、多目的ハンド、ハンドチェンジャ、ターレットハンドなどの選択肢から、目的に応じて構成することになるが、システムインテグレーションにおけるエンドエフェクタの合理性にも技術の差が現れる。

インテリジェント機能のもう一つの目的に、システムインテグレーションコストの削減がある。頻繁な段取り替え時間を削減するために知的機能を使おうという動きである。現場でのティーチング時間短縮のためにビジョンセンサや力覚センサを用いる試みや、ラフなティーチングからロボットの学習機能により作業チューニングする方法などが取り組まれている。一方、オフラインでのプランニングでも現場での段取り替え時間を短縮するためには事前準備の完成度を高める必要がありこのためのインテリジェント化も追求されている。これらオンライン・オフラインのインテリジェント機能への新たな要求と新たな解が今後とも次々と提示され、難しい作業の自動化が進むことに期待したい。

C）技術動向2：合目的型ロボット

溶接ロボット、塗装ロボットのように、明確な市場を形成している用途向きのロボットでは、その構造や制御方法、プログラミングツールに至るまで目的に適した製品化によって成熟しコストパフォーマンスをあげてきた。製造業用途では先に述べた「柔軟性に富んだ」というのは、冗長性や汎用性のことではなく目的とする仕様に向かっての柔軟性である。目的とする仕様をどう設定するか、が製品企画のキーポイントである。ロボット適用分野の拡大に応じて機構のバリエーションも増えている。大型液晶ロボット向きのワークの上に機構部が出ない屈伸構造、駆動系がエンドエフェクタに並列直結する高速動作向きのパラレルリンク構造、狭隘部で干渉回避しつつ自由度の高い作業の出来る7軸ロボット、常時協調仕様を目的とした双腕ロボットなどが、合目的型機構である。

また、適用分野が広がるにつれ、別の設備規格や耐環境性能を求められることもある。もともと自動車や電気電子向けでも、防塵・防滴・対電磁ノイズ・温湿度対策は必要であったが、食品用途での水洗浄や衛生構造、薬品工程の強酸化剤洗浄など、分野に応じて異なる要求仕様がある。また、グローバル市場では向け先国に満足すべき仕様の制約が求められることもある。ここはひたすらに、その本質を理解し合理的な対応を追求する必要がある。

製造業用のロボットでは、常に重視されるべきポイントとして産業機械としての安全性の確保がある。従来ロボットは"柵"などによる隔離が必須であったが、国際規格に照らして、柵以外の安全対策も容認されることになった[12]。製造現場に用いる産業機械であることに変わりは無いので、十分なリスクアセスメントによる合理的で確実な方法の選択が必要であるが、レイアウトの柔軟性やさらなるコンパクト性への期待は広がる。ロボットメーカーにとっては、様々な安全対策のバリエーション提案は製品企画として重要なものとなるであろう。

（4）今後のロボット産業における技術課題

グローバル競争、特にアジア新興工業国との競争の激化は一般的には厳しい価格競争を伴うこととなる。日々のコスト対策は言うまでもなく重要であるが、単に同じものをどちらが安くできるか、という競争では日本に勝ち目はなく、あくまでもコストパフォーマンスとトータルコストに着目した技術力で競争すべきであることはすでに述べた。長い目で見れば技術イノベーションにより競争力をつけても、いずれは他の諸国も追従してくる。今の日本は、それでも常に技術で先頭に立ち続ける覚悟が必要である。これは、あらゆる日本の工業製品についても共通することでもあり、これは日本の製造業の宿命である。日本のロボット産業は全力をあげて、その「技術力」は何か、具体的な答えを見極める必要がある。ここでは、ロボットの機能・性能アップのように、ロボットメーカ各社の自由競争に委ねられるべき技術課題ではなく、業界共通課題としてロボット業界全体で取り組むべき技術イノベーションについて考察する。この流れの延長には、産業機械全体に及ぼすインパクトも見据えておきたい。ロボットはメカトロニクス産業機械の典型例であり、ロボットで具体化できるイノベーションは産業機械全体にも大きなアドバンスをもたらしうる[13]。

A）機械要素のイノベーション

あらゆる工業において、キーパーツの技術を保持することの強みは言うまでもない。機械系のキーパーツに関わる技術は、信頼性向上、コストダウン、性能強化といった日々の恒常的な課題により鍛えられており、それが現在の日本製キーパーツの強みである。日本の機械産業の強みは、日々鍛錬されたキーパーツとその鍛錬の背景を熟知した機械メーカのアプリケーション技術により産みだされた製品、すなわちシステムとしての機械に凝縮されている。

振り返ってみるとロボットの基本構造は、市場立ち上がり初期の1980年代の試行錯誤でほぼ現在の形に到達している。枯れた信頼性の高い機械要素部品を使いこなしているという点では、ロボット産業30年にわたり、経験が蓄積され続けているものの、大きな変革は無い。ここでは、効果が期待できそうな明確な目的を想定した技術イノベーションを2点例示する。

・潤滑油を一滴も使わない機械要素

ロボットは回転部・可動部の多い機械のため潤滑油が多く使用される。さらにその機械要素を内蔵したアームはあちらこちらの方向に振り回されるため潤滑油の封止方法にも工夫が必要である。またロボットの用途も食品やクリーンルーム内作業など、油分の漏出が絶対にあって

はならない作業に拡大している。最近では潤滑油を使わない樹脂製のギアやベアリングを部分的に採用したロボットも開発されているが、重負荷部分も含め、潤滑油を一滴も使わないロボットの実現が期待される。このために機構要素自体のコストアップはあったとしても、機構設計の自由度が拡大し、品質コストを含むトータルコストの削減に有効であると思われる。

• エネルギーロスを現状の50%以下にする要素技術

ロボットの駆動はサーボモーターの回転から駆動伝達系を経て所望の動作を得るのであるが、エネルギー的に見て、サーボモーター内の損失、減速機内の動力伝達損失、ベアリング等軸受け部の摩擦損失、さらには回転軸に装着したオイルシール等の摩擦損失など、あちらこちらで損失があり、結局入力エネルギーの30～40%は失われている。機械要素個々の効率向上は永続的課題としてそれぞれの分野で取り組まれているが、機械システム全体のエネルギーのロスを最小化するための各分野間の議論の場も必要かと思われる。

B）情報・電力伝達系のイノベーション

ロボットの中にはぎっしりとケーブルが詰まっている。動力系、センサフィードバック信号系、エンドエフェクタ制御系、その他機械内各種センサの信号系などである。ケーブル実装技術はノウハウのかたまりで、設計上・実装作業上の巧拙で信頼性とコストに格段の差が出る。ケーブルを使わないロボットの実現も、インパクトが明快な目標である。

• 信号線を一本も使わないロボット

信号線を省略する方法としては、電力線で通信を行うPLC（Power Line Communication）か、無線通信となる。すでに実用例もあるが、標準実用機への採用には至っていない。無線通信では「広く遠くまで確実に」、という要求仕様が一般的であるが、機械の情報通信では「近距離で指向性があっても構わず、早く確実にリアルタイムで」と要求仕様が若干異なる。一般論ではなくロボットのような機械の場合の限定目標に適した無線技術とデバイスの実用化が期待される。

• 電力線を一本も使わないロボット

非接触給電と二次電池技術の複合システムで、機械内の電力安定確保にも期待したい。さらに、ロボットのアーム構造そのものに電力伝達能力を持たせる、インテリジェントマテリアルは実現しないだろうか。信号線と併せて、一本もケーブルを使わないメカトロ機械という目標設定で、実用的な技術普及が実現すると、ロボットだけではなく、工場の様相は一変すると思うがいかがだろう。

C）イノベーションのためのシステム-エレメント-マテリアル協業

いくつかの切り口からロボットの共通要素イノベーションの期待を述べたが、ロボット業界では、これまで、このような着目点で、これらの要素に関わる業界や、材料の業界と継続的な協業はしてこなかった、という反省はある。今の技術レベルで何ができるか、という情報交流は個々の企業レベルでは、もちろん行われてきたと思うが、関連業種相互に目標を共有化し、その実現を試みる、という活動がイノベーションに繋がりえるのではないだろうか。

先の機械要素の項を例にとると、材料側から見ても構造材料、表面加工、添加剤や改質剤など、多くのアプローチがある。材料メーカーには、結局効果的なアプリケーションに遭遇せずに棚上げされている研究レベルでの膨大な成果があると聞く。ロボットと機械要素と材料それぞれで問題を共有化し協調して開発にあたることができれば、その多くの未完の材料成果からイノベーティブな結果も期待できるのではないだろうか。情報・電力伝達系も同様で、今何ができるか、ではなく、システムである機械側から理想とする仕様を具体的にデバイス業界に提示し、共有目標としいて両者で開発に着手するというところに立ち返ることからイノベーションが期待できるのではないだろうか。

いずれにせよ、個々の業界でできることだけでは、激化する国際競争に優位な技術確保は難しく、今後はシステムとしての機械、要素機器としてのエレメント、材料やデバイスとしてのマテリアル三者の協業で奥の深い技術を追求する必要がある。

参考文献

[1] 一般社団法人日本ロボット工業会：ロボット産業需給動向2011　2012年7月.
[2] 経済産業省：工業統計調査2011年確報,過年度確報,工業統計データライブラリ.
[3] 内閣府：2011年度国民経済計算確報,過年度確報,歴史的資料.
[4] 財務省：貿易統計-輸出入額の推移.
[5] 経済産業省：海外事業活動基本調査2011年度実績,過年度実績.
[6] 21世紀中国総研：中国情報ハンドブック2013年版,蒼蒼社.
[7] 小平紀生："中国におけるロボットの研究開発動向について",CISTECjournal,2011.1, No.131,pp.37-42.
[8] 中国機械工業連合会：2012中国（上海）国際机器人展覧会・2012中国机器人産業推進大会資料
[9] 経済産業省：産業構造ビジョン2010.
[10] IFR（International Federation of Robotics）：World Robotics 2012.
[11] 鷲見和彦他："柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステムの開発"日本ロボット学会誌, Vol.27,No.10,pp.1082-1085,2009.
[12] 芳司俊郎他："産業用ロボットによる労働災害の分析とアンケート結果に基づく規則改正の提言", 労働安全衛生研究, Vol. 5, No.1, pp. 3-15, 2012.
[13] 小平紀生："今,産業用ロボットに必要な技術イノベーション",ロボット工業会機関誌「ロボット」,No.214,pp.1-3,2013.

3.1.2.　産業用ロボットの海外市場対応と課題

（1）海外市場シフトの背景

産業用ロボットは世界の自動車産業・電気機器産業を筆頭とする生産工場のオートメーションツールの一役として、メカトロニクス技術の進歩とともに、高速・高機能化されながら進化してきた。

先進国産業発展に伴う工場建設数の増加と生産対象である製品の国際競争力を増す為に、それまで人手作業で行われていた製品の生産は自動化され、そこで適用されるロボット自体の生産台数も同様に増加し先進国を筆頭に全世界の市場へと投入されてきた。

従来はロボット先進諸国（日本・欧州・米州）にロボットメーカーが存在し、かつそのニーズがある市場に自動車・電機機器品等の量産工場の多くがロケーションされていた事から、産業用ロボットは先進諸国内での需要がほとんどの割合を占めていた。

近年は日本のバブル崩壊から始まり、米国でのリーマンショック、欧州債務危機と先進国での財政的諸問題の発生ならびに人件費及び材料費の高騰等により、これまでロボットが導入されてきた様々な製品の生産工場は、世界レベルでの製品価格競争力強化の為、それらの問題を解決する可能性と、将来的な地場での製品需要を見据えて、新興国（中国を初めとする東南アジア・東欧・中南米等）での建設・稼動へとローカル生産へのシフトが始まった。それにともないそれらの工場で使用されるロボット需要も当然の事ながら工場建設国である新興国へと導入が進み、設置台数も年々拡大し、その流れはとどまることを知らない。

（2）海外市場の現状と課題

現在、産業用ロボット導入の主戦場となっている新興国諸国では、すでに日欧米のロボット先進諸国のマザー工場への納入実績がある自動化生産設備がコピーされた工場を設立していくというプロセスにも大きく関係しているが、ロボット市場拡大スピード、すなわちロボットが生産工場に導入されるスピードが、従来の先進国国内への導入とは格段に異なり、さらに加速している。この急激な市場拡大スピードとニーズにロボット及びロボットシステムメーカーとしてどの様に追従できるかが、世界的にロボットビジネスを拡大させる事ができるのかの重要なファクターの一つである。しかしながら、その急激な市場拡大に対して、新興国諸国内での販売サービス力や、ローカル基礎技術力とその対応力は、市場拡大スピードに十分に追従しているとは言えず、一方ではロボットに要求されるニーズも市場毎に一部異なってきているという現状もある。

また、ロボット先進国には工場内のオートメーション設備を連続稼動させる為に、日々自動化設備をメンテナンスしライン監視する高度なスキルを持った保全担当者が存在する場合が多い。新興国ではそれら先進国同様に十分な教育を受け、かつスキルを持ち合わせた人材と、その人材を有効活用できる企業体制を構築する事が困難な状況が多く、多くの先進国企業はロー

カル企業への人材シフトを含めて、ローカル対応力を補強している。したがって日本国内の産業用ロボットメーカーならびにシステムインテグレーターとしても、この新興国での現状をいかに解決しソリューションとして提案できるロボットメーカー及びシステムメーカーであるかが、市場獲得のキーになると考える。

（3）海外市場展開上の日本ロボット産業の課題

新興国では先進国と比較してロボット及びロボットが導入された自動化システムを販売し、使いこなし、メンテナンスできる人材そのものと、人材のスキル不足が顕著である。先進国でもロボット開発後の導入時点では同様の問題が発生していたと考えるが、新興国では急激なグローバル生産シフトにより、自動化工場の新設も多く市場の拡大スピードは従来と比べ物にならない程加速的である。

これらの状況から、今後ロボットには余りスキルを持たない新興国のローカル人材でも簡単にロボット及び自動化設備の導入検討を行えて、また実際の導入においても簡単に使いこなす事のできるシンプル＆イージーユースで、かつ現場作業者が行っている作業を、簡単なプログラミング作業等で同じ様に実現可能な高知能性が要求されると考えられる。

また、近年は中国、韓国を始めとして政治問題に起因したビジネスへの影響も少なくない。日本製品の不買運動や日系企業工場でのストライキ等、ロボット関連産業のみでなく日本企業が直面する問題は様々である。

（4）ロボット産業の国際競争力

多くのロボットメーカーがロボットが導入される需要地であるという事のみでなく、製品価格力強化と為替リスクヘッジ等を考慮して、新興国諸国でのロボット生産工場建設・稼動や近隣需要国への供給及び、現地生産した部品の一部あるいはロボット完成品をアウトイン（逆輸入）するという活動を活発化させている。

また、中国を筆頭とする新興国でも自社生産設備用のロボットを自社開発するメーカーや日欧米製ロボットを殆どコピーして安価なロボットを市場に投入するローカルロボットメーカーも登場している。現段階では、基本的性能や製品品質・信頼性等を比較すると日本製製品には劣ってはいるが、その様なベンチャーメーカーも市場でのニーズやノウハウを蓄積する事により、数年で現状の日本製にかなり近い性能まで追随してくるものと考えられ、先進国のロボットメーカーも安泰では無い。その為にも、我々にはさらにオートメーションに適用しやすい進化した産業用ロボット及び自動化システムを市場投入し、ロボット産業及び市場をリードし続ける使命がある。

しかしながら、将来的には日本国内でロボット関連製品を取り扱う企業としても、これまでのロボット発展主流である高性能・高機能なロボット開発のみでなく、新興国のルーキーロボット企業に対抗する為、先進国で通常要求される性能であってもそのローカルニーズに合わせてスペックダウンする、もしくは機能を制限してロボットの開発を行う、ロボットに使用されている部品等を価格の安いローカルメーカー製品に移行する等の発想の転換も必要かもしれない。

3.1.3. システムインテグレーションから見た課題

（1）生産システムにおけるシステムインテグレーション

製造業におけるシステムインテグレーションの起源は、18世紀中ごろ、イギリスの産業革命での機械化された工場の誕生に始まり、1888年、アメリカのフレデリック・W・テイラーにて提唱された「科学的管理法」から、生産技術が発展、工程設計による標準工数の設定やライン設計、タイムスタディーなどが使用されるようになった。人と機械とのインテグレーションがここから始まることになる。それから約100年後、日本において1980年が産業用ロボットのロボット元年と言われ、ロボットシステムのインテグレーションやシステムインテグレーターの誕生・成長もここから始まったのである。本文でのシステムインテグレーションとは、**「産業用ロボットを使用した生産システムを構築すること」**とする。それを担う事業者（企業）はシステムインテグレーター（SIer:エスアイ、またはエスアイアー）と言われている。今後、本文での産業用ロボットのシステムインテグレーターをSIerと表記することとする。このシステムインテグレーションに不可欠な「産業用ロボット」自体は、半製品である（図3-9）。身近なものでは、パソコンがその代表例である。パソコン本体はいかに性能が良くても、OS上の各ソフトにおいては、その使用方法の習得やデータをインプットしなければ機能が果たせない。また、そのアウトプットに対しては、プリンタを初め様々な周辺機器が必要となり、その為、使用目的に応じてのシステムのインテグレーションが必要とされるのである。産業用ロボットも同様で、SIerによりシステムインテグレーションされて、初めて能力を発揮する（図3-10）。

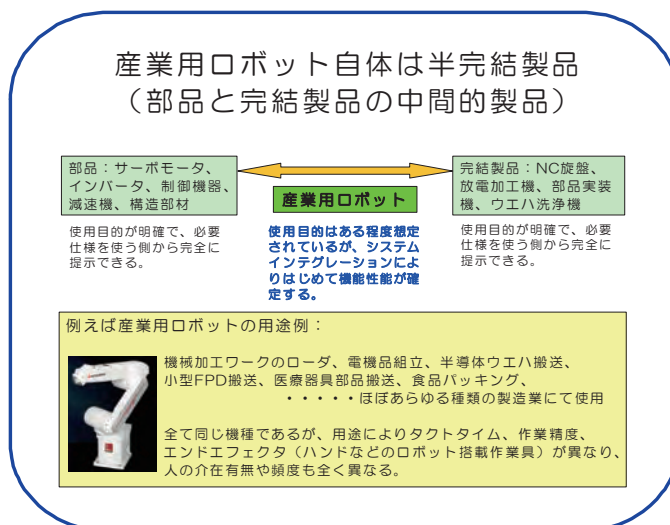
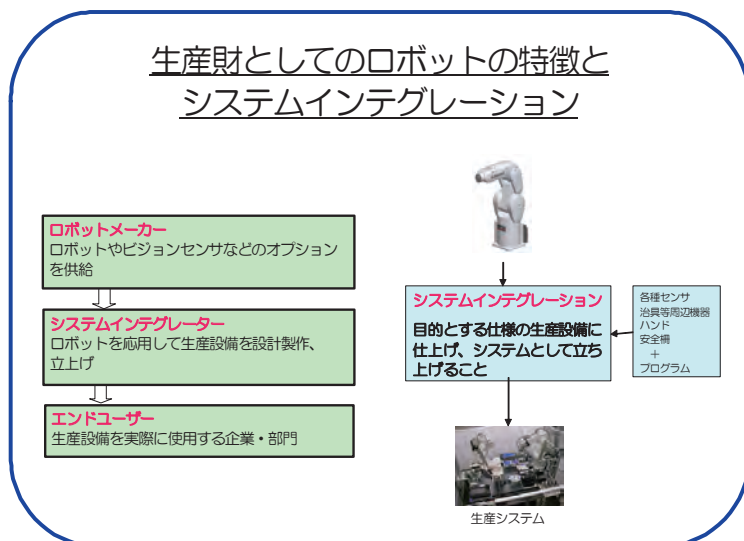
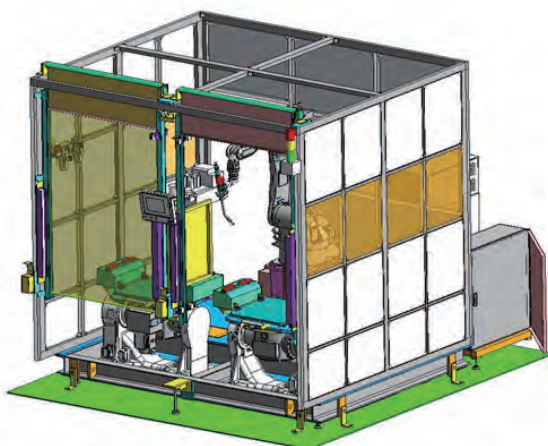
図3-9　産業用ロボットのシステム中の役割

（株式会社古川製作所作成）

図3-10　SIerによるシステムインテグレーション

（株式会社古川製作所作成）

（2）ロボットによるシステムインテグレーションの動向

①　自動車産業

ロボット市場で、約4割の最大シェアを持つ自動車産業について述べる。

1970年代のオイルショックは世界的なガソリン不足を招き、燃費の良い日本車の人気がアメリカで急上昇した。急激に対米輸出が増えたため、各自動車メーカの生産台数が急増し、生産ラインの生産性を上げる為、自動化が急務になった。

1970年代後半～1980年代前半、自動車の生産ラインは、まだマルチ溶接機などの専用機（図3-11）が主流で、ロボットは川崎重工業が世界初の産業用ロボット「ユニメート」（1961年発表）

を開発したユニメーション社と技術提携し、1969年に国産第一号の産業用ロボット「川崎ユニメート2000」を製作、日本の工場でロボットが本格的に実用化され出した。

1980年代後半になると、70年代から開発され始めていた各日本メーカ製のロボットが多用されだし、本格的なロボット生産ラインの構築が始まった。この時代に、IE（Industrial Engineering）に準じた業界内の生産技術の成長とともに、システムインテグレーションの技術が今まで以上に要求されだしたのである。

図3-11　マルチ溶接専用機（例）

（出典：株式会社古川製作所）

SIerの多くは、専用機メーカや部品溶接及び組立治具製作会社の下で育てられた。また、その企業から社員が独立起業、または、自動車メーカーの生産技術者が独立して起業するケースも珍しくなかった。

1980年代は、急激な対米輸出でアメリカの日本車のシェアが増大、自国の自動車業界を守るべく、日本へ圧力がかかり、輸出の自主規制が始まった。

1990年代になるとバブル崩壊による国内消費低迷も起因して、初めて北米での現地生産化が開始となった。この時代からSIerもビジネス渡米をすることになる。ここが、自動車メーカー及びティア1（自動車メーカに直接部品を供給する企業）はもちろん、SIerにとっても海外進出の原点である。

2008年のリーマンショックでその傾向は急速に加速した。自動車生産工場のグローバル化、部品の現地調達化が進み、欧米ばかりでなく、コスト競争力をつける為、アジア等の新興国への進出が一気に進んだ。代表的な新興国は、BRICSと言われているブラジル･ロシア･インド･中国を始め、タイ、インドネシア、メキシコ等を含め多数に及ぶ。

現在は、各自動車メーカー及びティア1メーカーの生産工場へ導入するロボット生産システムは国内で製作、現地へ輸出することが多いが、近年は現地調達の傾向が強まってきている（図3-12）。

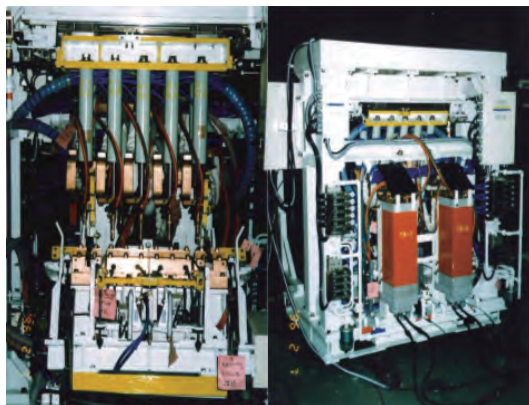



図3-12　加速する現地工場生産

（株式会社古川製作所作成）

②　電気電子産業

自動車産業に次ぐロボットの利用分野は、世界全体では23%[1]を占める電気電子産業である。一方、日本国内向けの出荷ではおよそ40%[2]で既に自動車産業のおよそ30%[2]を超えている。日本国内の電気電子産業の初期の用途は単純作業が主体であったが、最近では比較的難しい組立作業に取組む傾向が強くなって利用が拡大している。電気電子産業のロボットによる自動化は、対象とする製造品の特性とユーザごとの自動化方針がケースバイケースになり要求仕様が個別であり、自動車用途に比べて、類型化・体系化がしにくい。そのため、技術的な難しさに加え、システムインテグレーション事業としても難しい分野である。

1980年代：電気電子産業では、初期の油空圧駆動型ロボットを利用することは無かったが、1980年ロボット普及元年以降に、電動ロボットを製造ラインに導入する試みは始まった。

当初の利用実態は単純作業の機械化という傾向が強く、ライン製造の個々の作業をロボットに置き換えるという初歩的なロボット化が主体であった。このような自動化は大手の量産工場が自前の生産技術部門で試みることが多かった。

1990年代：バブル崩壊後は、厳しい経営環境下で、投資の合理性が厳しく問われるようになった。単純作業のロボット化投資は抑制され、より付加価値の高い用途に期待はかかるものの、自動組み立てなど技術リスクの高い用途は、研究開発として取り組まれるレベルにとどまっていた。この時期の電気電子産業で特筆すべき応用は液晶、半導体のクリーンルーム用途である。この用途のシステムインテグレーションは、半導体製造装置メーカが搬送系を取り込む、あるいはエンドユーザが搬送全体を見通すというフォーメーションのため、特殊な企業群に留まっている。

2000年代以後：中国に代表されるアジアの新興工業国の急伸長が顕著となった。日本の電気電子製造業では簡単な自動化程度での勝ち目は無く、海外生産志向が強まった。しかし一方では国内で高度な自動化への取組も目立つようになり、本来ロボットに期待されたフレキシビリティ、インテリジェンシーに向き合う気運も出てきた。ロボットによるセル生産へのチャレンジがその例である。いずれにせよ、電気電子用途では、ロボット本体の機能性能追求よりは、実現されるシステムソリューションに着目されることとなった。

ケースバイケースで厳しい国際競争にさらされる電気電子産業では、なるべく枯れて使い慣れた技術で対応したいSIerにとっては、試練でもあるがジャンプアップのチャンスでもある。各種センサ類を応用した知能化、これまで避けてきた難しい作業へのトライなど、多少技術リスクを克服しながら事業活性化を模索する企業が生き残っていく。

③　その他の産業

自動車産業、電気電子産業に次いで期待されているのは、食品・薬品産業である。ただしこれらの分野では、食品機械や製薬機器の領域にロボットが適用されるというよりは、最上流の材料投入あるいは下流のピッキング・パッキング・パレタイジングなどの用途が大多数である。この分野でのシステムインテグレーションでは、技術的に難しい、というよりは用途に応じた

設備仕様、例えば耐環境性や安全規格などへの配慮が必要となる。いずれにせよ、SIerには、その適用業種ごとにシステム構築上必要な周辺知識の有無も問われる。

参考文献

[1]　IFR (International Federation of Robotics) : World Robotics 2012.
[2]　(一社) 日本ロボット工業会 : ロボット産業需給動向2011,2012年7月.

(3) SIerの事業形態

ロボット産業に関わるSIerの事業形態は以下の3つの種別に分けられる。

① **自動機メーカー**

- 製造業としてのポジショニングが明確な大手企業が多い。
- 標準製品をメインとし、カスタム仕様に応える特殊仕様機も対応。
  (例：半導体装置メーカー、食品機械メーカーなど)

② **独自の製品を持つ装置メーカー**

- 小さいながら、いわゆるオンリーワン企業が多い。
- 特定独自技術を強みとする、用途特化したカスタムな自動機を供給。
  (例：はんだ付け、検査装置、半導体ローダー装置メーカーなど)

③ **顧客ごとの要望を満たす自動設備メーカー**

- 10人から100人超の規模で機動力のある便利な中小企業。
- 実はオイルショック以後の日本のものづくりを支えてきた主役。
- 少なくとも得意分野は持っているが、顧客ごとのカスタム仕様システムを得意とする。
- 柔軟な対応能力が特徴。
- 我が国の産業を担っている自動車や電気電子産業に関与する企業が圧倒的に多く存在する。
- 我が国で一番多くの産業用ロボットを使用し生産システムのインテグレーションをしている企業 (SIer) 群である。

以下は、③のメーカーについて述べる。この形態のSIerは以下のように分類されることがある。

ユーザー企業系SIer

ユーザー企業の一部門、もしくはその部門が独立した会社、またはその企業の傘下に入った会社であり、親会社との資本提携がある。一般的には社内、または親会社から案件を受注して開発を行う。産業用ロボット生産システムの構築プロジェクトにおいて商流の上位に位置することが多い。

ロボットメーカー系SIer

ロボットメーカーの一部門、もしくはその部門が独立したエンジニアリング会社であり、当然、資本提携がある。基本的には、親会社であるロボットメーカーが受注した案件及び紹介された案件のみ、請け負うことになる。当然であるが、システム中使用されるロボットはすべて

自社ブランドである。逆に、自社ブランドのロボット以外のシステムは、エンジニアリングできないと言っても過言ではない。他のロボットメーカーに対しては、閉鎖的で排他性を持つ。但し、多くの独立系のSIerをネットワークで持っているのも事実である。また、ロボットの販売チャネル上にある商社との連携で、案件の受注エリアは広い。今後の国内外の新市場開拓において、SIerとの連携が大きな力になることは間違いのないところである。

独立系SIer

親会社を持たない、資本が独立した会社。ロボットメーカーや他のSIer、商社からの下請け業務を行うこともある。業界で企業数が圧倒的に多いのはこの独立系であり、一般的にSIerと言われているのはこの企業群である。日本のロボット産業を根底から支えているのがこの独立系SIerであるが、経営基盤が弱い中小企業が多い為、海外進出や国内異業種への参入、及び技術開発投資などが自力でできない企業がほとんどである。ゆえに、行政、関連法人等の政策支援がもっとも必要になってくる企業群である。

日本のユーザー企業は、その企業専用に特化したカスタムメイドの生産システムの開発を、システムインテグレーションできる企業であるSIerに発注する傾向が強く、ユーザー企業からは、（図3-13）のようにその企業の生産技術が、ロボットで生産する製品のデータにより、投資金額や工程設計、システム仕様などを検討し、その仕様に基づき発注されることが多い。

よって、日本のSIerのビジネスモデルは、ユーザー企業の自前主義に対応し、受託開発が

図3-13　SIerの代表的な業務フロー例

中心になり、その役割はユーザー企業の提示する要件に基づいて仕様書、計画書を作成してシステムを構築することである（図3-13）。これを行う技術がシステムエンジニアリングである。

また、受託開発によって構築されたロボットシステムは外販されることが少ない。知的財産権がユーザー企業に帰属する契約となっていることが多く、SIerは過去の成果物を再利用して、生産性を上げることができにくいのである。

ゆえに、ユーザー企業やその業界が固定されやすく、SIer間の交流も閉鎖的になっている。

今後、日本の産業用ロボット業界を守り、また、市場の拡大を狙うにはこの閉鎖的な体質を打開し、企業間の連携を強め、国内の新市場、新事業開拓や海外のロボットメーカーやSIerの台頭に立ち向かわなければならない。

（4）SIerの事業展開上の課題

今後は中国などの国策により育て上げられたロボットメーカーやSIerが自国ばかりでなく、グローバル展開をしてくるのは時間の問題であり、特に、経営基盤が弱く、閉鎖的で海外展開が上手くできない日本のSIerは、コスト競争で負けるのは明白である。逆に、日本国内需要においても中国メーカーの進出が懸念されている。NIES（新興工業経済地域）における華僑の歴史と現状を考えると、その危機感は当然のことである。

前述の様に、SIerの今後の事業展開については、危機的な状況に陥ることは間違いのないところである。下記に国内外の現状と今後の課題をいくつかのテーマに基づいて述べる。

【国内の現状】：テーマ〈市場縮小〉
- 昨今の急激な生産工場の海外展開により国内の需要激減。
- その状況下でのSIerは、経営基盤が弱い中小零細企業が多く、ゆえに研究開発投資や海外展開（進出）は非常に難しい。危機的な状況である。

【国内の今後の課題】：テーマ〈内需掘り起し〉
- 新規分野や産業（食品・医薬品産業や農業など）への参入のための取り組みや人材育成。
- 少子高齢化に基づき、中小零細企業へ省人化・無人化ニーズに対応する取り組み。
- 国策による上記の為の研究開発や業界ユーザとの連携、連繋の後押し、及び、設備（更新）投資の促進につながる減税策や補助金制度。
- 国内業界ネットワークの確立。

【海外の現状】：テーマ〈新興国の台頭〉
- 各メーカの海外現地生産拠点化により、一時的には海外向けロボットシステムの需要増になったが、海外の工場立地が一息つくと需要は冷え込むことになる。

今後は、現地調達化が進み海外現地工場から直接仕事の依頼が多くなる見込みであるが、昨今、新興国のSIer（特に中国・韓国）及びロボットメーカーが力をつけてきて、海外展開していない日本のSIerは、現地での仕事が少なくなる可能性が濃厚である。コスト面を考慮すると、数年後には、海外では中国のロボットとそのSIerを多用し出す可能性が大きい。

これは、産業用ロボットの海外販売と連動している。現在のシェア確保が難しくなるばかりでなく年々縮小し、数千億円単位の減少になることも予想される。

【海外の今後の課題】：テーマ〈グローバル市場の獲得〉

- 国策としての海外進出の投資援助・教育指導。
- 海外拠点でのサプライチェーン確保やネットワークづくり。
- 海外市場に対応したグローバルエンジニアの育成。
- ロボットメーカーとSIerの連携での海外戦略。
- 新興国での圧倒的シェアを狙うための施策。

（5）技術課題及び人材育成

はじめに、SIerの様々な顧客への対応能力や今まで培ったカスタマイズの能力、技術・技能は、今後の海外グローバル戦略において無視ができない。標準化された中で、マニュアル通り、与えられたノルマに従事していて効率を求める業種と違い、顧客要望により一品一様の製品を構築する発想は独自性が強い。それは発明工夫に似た感性が存在し設計者の資質、感性で独自のものが出来上がる為、大変面白くやりがいのある業界である。ものづくりの原点ともいえる。

但し、ここで「(3) SIerの事業形態」のなかで、圧倒的に企業数の多い③のメーカーは、今までの技術がユーザー企業から伝承されたものであることをここで理解をしておく必要がある。常に、ユーザー企業やロボットメーカーとの協調で育った技術である。今後もその形態は変わらないだろう。その為、ユーザー企業やロボットメーカーの技術的進歩がSIerの技術向上に繋がることになる。ゆえに、その三者の協調が日本のロボット産業ばかりか、製造業のイノベーションに重要な役割を果たすことは間違いのないところである。

その上で、敢えてSIer特有の技術・能力と言えば、多数の顧客（ユーザー企業）のあらゆる仕様形態に追従できる能力であろう。この技術・能力は、今後のグローバル戦略や新技術の習得、新規顧客対応など、国内外へのアクションに追従しやすい体質で、対応力にとても柔軟性を持っている。

これらの技術・技能、能力をより高度化し大きな産業として育てることが、日本のロボット産業を強固なものとし、国内産業の掘り起しと世界市場シェアの拡大が可能となる。

その為の業界内で問題となっている技術的課題の解決とその為の人材育成が必須になってくる。ゆえに、山積する課題の中から業務の流れに準じたものをいくつかをあげ、その人材育成に関することを述べる。

営業活動

↓

①提案型企業への変貌（経営・営業）

前述のように、我が国のSIerは、顧客要望によるカスタマイズ能力は有るが、顧客の抱えている諸問題を分析評価し提案する能力は余り備わっていない。「(4) 事業展開上の課題」で記述した国内外の課題に対し、提案型企業への変貌は必須である。その為には今まで培った技術技能にだけでなく、

「最新の技術動向の情報や利用方法」や「IEの考え方の習得」の教育が非常に必要になってくる。この場合、関連団体ばかりか産学官の連携がとても重要である。

②仕様打合せ内容・範囲の明確化（営業）

日本のSIerの多くはユーザー企業からの受託開発による受注形態が多い為、ユーザー企業やその業界が固定されやすく、日本特有の阿吽の呼吸で引き合い時の仕様打合せが比較的曖昧でも、同一ユーザーや業界の仕事に慣れている為、それに準じての見積りは妥当性をもち、受注・契約となるケースが多い。

しかし、これは国内新規産業のユーザー掘り起こしや海外のユーザー企業に対しては非常に危険な体質である。このような感覚では顧客満足を満たせず、引き渡し、検収及び資金回収などのトラブルの多発は予想でき、そのSIerの存続も危ぶまれる恐れがある。

この課題に対し①を含め、見積りから契約締結時や引き渡し、検収、集金等、諸条件の手法や考え方の教育・指導が必須である。その為には、JETROや各総合研究所、大手商社等による勉強会（案）などが有効になるように関連団体等の後押しが必要となってくる。

③省人化技術の向上（営業・技術）

日本の製造業は、新興国との競争に打ち勝つため国外へ進出し、海外生産に切り替えている企業が多い。しかし国内の中小企業は、経営基盤が弱く、海外進出や国内異業種への参入、及び技術開発投資などが自力でできない企業がほとんどである。国内に留まり、コスト競争に打ち勝ち、生き残りをかける一施策としては、今後は省人化を目指すことになる。

ここで、どこを省人化するかであるが、実作業の多くが自動化されている製造業の中で、比較的作業者によって行われているものは、部品セット・製品検査・梱包・運搬等である。この作業に対し、現在のロボット技術は、パラレルロボット、ヒト型または、双腕ロボットなど、知覚や接触センサをはじめ、様々な新機能を使用し、それらの技術は目覚ましい発展をしている。

SIerとしては、これらのロボットを有効に利用してシステムを構築する技術がこれからの課題であり、その教育をどうするかが一つのターゲットとなるはずである。

④設計開発でのシミュレーション能力の向上（技術）

3D設計が一般的になっている現在、設計段階でのCAEによるシミュレーションが多く実施されているが、SIerの業界では大企業系の企業を除き、一

般的には、システムインテグレーションされた産業用ロボット生産システムの事前動作シミュレーションの実用化がとても遅れている。

国内も同様だが、海外でのグローバル展開において、＜品質と納期＞が重要視されることは間違いのないところであり、今のところ、我が国はその2点について新興国に対しその優位性を保っている。今後もコスト面での競争は厳しいと思われる中で、必然的にこの2点が生命線になる。幸いにもSIerが構築するシステムは標準品と違いコストだけの比較にはなりづらい一面があり、今後この2点＜品質と納期＞に力を入れるためにも事前シミュレーションにより開発段階で早期に問題を発見する能力は重要である。特に海外においては品質上での大きな問題の発生は、経営上も命取りになりかねない。

製　作：部品加工・装置組付・配管・配線など

第3章

ロボットシステムアップ

⑤ロボットティーチング（教示）能力の向上（技術・製造）

冒頭でも述べたように、このシステムインテグレーションに不可欠な「産業用ロボット」自体は、半製品である。

このロボットに色々な動作及び信号を含めたプログラムをインプットする技術がティーチングである。この作業と下記⑥の制御プログラミング作業を実施することにより、システムインテグレーションされたシステムは頭脳部が完成し、はじめて機能することになる。これは、④設計開発のシミュレーションとも関連性が高く、同時に修得したい能力である。その為には、SIerが積極的に人員を割いて実務経験を積むことが何よりの技能、技術の向上になるが、教育面ではロボットメーカー等の指導が不可欠となる。

ロボットティーチング

動作トライアル

⑥制御プログラミング能力向上（技術）

インテグレートされたロボットシステムを最終的に立ち上げるための最重要技術である。つまり、そのシステムの頭脳部分を設計しインプットする能力である。その技術者は業界の中で大変不足していて、④での品質や納期に大きく影響を及ぼしている。時代の変革において一番変化が大きい技術であり、常に新技術に追従しなければならない。その為には、ユーザー企業はもちろん新技術開発企業からの技術情報の伝達が必要不可欠である。

願わくは⑤と⑥の両方が備わった技術者の育成ができれば、今後のグローバル展開に対し、新興国ばかりでなく、欧米各国が真似をできない大きな武器になることは間違いのないことである。

現地据付

⑦現地据付にてのシステム立上げ技術要員の育成（技術・製造）

SIerによってシステムインテグレーションされたロボットシステムは、国

検収
集金

客先
引渡

アフターサービス

内外のユーザー企業の生産工場に復元され設置される。その復元工事と動作及び品質確認を含めた再調整の業務が発生する。その後、客先にて確認が完了し承認され客先引渡しとなるケースが多い注)。

この業務遂行に必要な能力や技術は、設計・製作の技能や電気配線、配管はもちろん、⑤. ⑥で述べた制御プログラミングやロボットティーチングの技術も当然必要になり、総合能力のある人材が求められる。

特に、海外工場での生産システムの立ち上げは、現在のところ、国内からその能力や技術の個別の技能･技術者を複数人派遣し、業務を遂行することになり、とても非効率で出張期間も長期になるなどの費用がかさむばかりである。また、SIerの動作トライアルまでの通常業務へも支障がでている。その原因は、国内外を問わず、この復元工事と再調整ができる人材が非常に不足していることである。これは引き渡し後のアフターサービスに関しても同じことがいえる。

それに対して、現在のところの考えられる一つの解決策としては、SIerのなかで、その業務の専門部署を作るか、関連会社を設立、または海外においては現地法人の設立での現地人の人材育成などが有る。

注）この時に、契約条件がしっかりしていない為、トラブルが起きてしまうSIerが多く、契約金の回収ができず経営を圧迫することが多々発生する。そこで、②で述べた内容が重要になってくるのである。

（6）SIerの活性化対策及び、まとめ

日本の産業用ロボット業界は、前述の様にユーザー企業、ロボットメーカー及びSIerとの協業で成り立っている産業である。SIerの衰退・縮小は、ロボット産業そのものの衰退につながると言っても過言ではない。

また、自動車や電気電子産業などの生産準備において代表的な業界が、「プレス機＋金型メーカー」と「産業用ロボット＋SIer」である。しかし、SIerは金型業界と違い、1980年代からの比較的新しい産業・業種である。その為、業界の統一性や独立性が薄く、技術面では金型よりも学術的にもかなり広範囲の要素を含んでいる為、産学官連携が非常に難しく関与がしにくいのである。

日本の産業用ロボット業界を守る為には、今後のSIerの活性化に向けて、業界の取りまとめが必須である。業界内でのユーザー企業やロボットメーカーとSIerとの連携や協業を行う為に、必要な業界体質の強化を図らなければならない。ゆえに、SIerの国策レベルでの後押しが必要となり、体質強化はもちろんだが、育成も急務で教育施策が重要となる。そこで、（一社）日本ロボット学会や（一社）日本ロボット工業会（JARA）、その他関連団体においては、その中心的役割を担ってもらいたい。

現在、国内SIerのネットワークを構築する為、JARAにてその打開策を打ち出し始めている。「ロボットエンジニアリング業界活性化検討会議」はその代表例である。

3.2. 各国の製造業とロボット産業の状況

本節では、各国の製造業とロボット産業の状況（係わり）について記述する。

ロボットの国際統計としては、国際ロボット連盟（International Federation of Robotics :IFR、以下IFR）が毎年、各国のロボット関係の工業会・協会より統計データ（需要分野別・用途別出荷台数）を集め、その集計結果を「World Robotics」として統計年報を取り纏め発行しており、本節のロボットデータは、このIFR統計に基づくものである。

はじめに、表3-3で、過去10年間での主な国、地域別に産業用ロボットの出荷状況（台数）についてみてみる。なお、IFRのロボット分類では、日本ロボット工業会が対象としている電子部品実装ロボットは含んでいない。

本表からもわかるとおり、この10年間では、2009年にリーマンショック（2008年）の影響で世界規模での大幅な落ち込みがみられたものの、何れの地域においても一時的なもので、その多くが翌年以降、確実な回復と成長をみせている。

米州では、アメリカ、メキシコ、そして南米のブラジルにおいてロボット導入が積極的に展開されており、何れの国も2012年ではこの10年間でのピークを記録している。

アジア及び豪州においても、日本を除いてこの10年で飛躍的な伸びを示すとともに、地域別では最大の出荷規模となっている。特に、世界の工場とも呼ばれる中国ではこの10年間で15倍以上、韓国では約4倍、さらにはASEAN及びインドといったロボット導入新興国でもその成長が著しいことがうかがわれる。

欧州地域では、ドイツ、フランス、イタリア、イギリス、スウェーデン、スペインといったロボット導入先進国とも呼ばれる国々に加え、東欧諸国でもこの10年間、順調にロボットの普及がなされてきた。しかしながら、欧州債務危機に端を発した景気後退の影響で2012年は地域的にマイナス成長となっている。

以下、これら地域での製造業とロボット産業の係わりについて記述するが、ロボットの普及が早くから進んだ業種としては、自動車や電気・電子製品など裾野産業を広く抱え、かつ一度に多くの台数の発注が期待される分野が伝統的ユーザ産業であることはいうまでもない。

また、ロボット等での自動化を考えた場合、一般には自動車や電気・電子工場でのように製品が固体を対象とした組立加工型（ディスクリート型）が適しており、化学工場のような流体を扱うプロセス型ではロボットの利用は限定的とならざるを得ない。さらに、自動車や電気・電子機器産業分野などは技術集約度が高く、自動化を図ることでさらに製品の付加価値があがる。

これらを踏まえ、各国のロボットの導入状況を見るならばその国で盛んな製造業が何なのかの一端も充分見てとれる。

次項での各国の製造業構成に関するデータは、（公財）矢野恒太記念会発行の「世界国勢図会2013/14」によるとともに、その元データはUNIDO（国際連合工業開発機関）の「International Yearbook of Industrial Statistics」からのもので、事業所数、雇用者数、そして付加価値額（生産額から原材料額や減価償却額を除いたもの）からなっている。

製造業構成の最新データが2010年のものとなっていることに加え、国によってはそのデータがさらに古いものがあるなど、産業用ロボットの2012年データと少なくとも2年以上のタイムラグがあるものの、アジアの新興国を除き一国の製造業の構成が数年で急激に変化するとも思われず、大方の判断材料にはなると思われる。

また、（表3-3）の国別の出荷台数と3.2.1項以降での各国の製造業向け出荷台数とに差異が生じているのは、（表3-3）の出荷が製造業以外の分野のほか、不特定のものがあることにも留意されたい。

表3-3　過去10年間での主な国、地域別に産業用ロボットの出荷台数の推移

	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年
米州	**12,957**	**15,400**	**21,986**	**17,910**	**19,582**	**17,192**	**8,992**	**17,114**	**26,227**	**28,137**
米国	11,286	13,853	17,677	14,791	14,978	13,380	6,831	14,380	20,555	22,414
カナダ	1,235	440	3,079	1,737	3,025	1,813	513	1,076	1,848	1,749
メキシコ	172	877	811	889	719	1,049	1,073	900	1,938	2,106
ブラジル	231	208	320	430	703	781	495	640	1,440	1,645
その他(中/南米)	33	22	99	63	157	169	80	118	446	223
アジア／豪州	**40,579**	**52,311**	**69,478**	**61,748**	**58,224**	**60,294**	**30,117**	**69,833**	**88,698**	**84,645**
日本	31,588	37,086	43,932	37,393	36,091	33,138	12,767	21,903	27,894	28,680
中国	1,451	3,493	4,461	5,770	6,581	7,879	5,525	14,978	22,577	22,987
韓国	4,660	5,457	13,005	10,756	9,048	11,572	7,839	23,508	25,536	19,424
台湾	1,454	3,680	4,096	4,307	2,399	3,359	1,474	3,290	3,668	3,368
タイ	156	757	1,458	1,102	1,252	1,585	774	2,450	3,453	4,028
シンガポール	48	244	424	233	210	198	398	777	1,320	1,177
マレーシア	191	250	243	248	478	370	209	677	646	775
インドネシア	44	74	193	97	213	174	130	367	728	871
インド	57	369	450	836	928	883	363	776	1,547	1,508
オーストラリア*	569	652	890	719	734	781	399	624	690	1,214
その他	361	249	326	287	290	355	239	483	639	613
ヨーロッパ	**27,832**	**29,409**	**28,432**	**30,385**	**35,204**	**34,695**	**20,483**	**30,741**	**43,826**	**41,218**
オーストリア	365	545	485	498	621	638	508	496	628	835
ベルギー	497	339	468	681	510	561	672	451	737	1,077
オランダ	218	197	629	778	800	772	614	508	1,015	810
デンマーク	288	296	354	417	565	487	315	373	436	503
フィンランド	387	401	556	321	358	331	276	270	297	330
フランス	3,117	3,009	3,077	3,071	2,736	2,605	1,450	2,049	3,068	2,956
ドイツ	13,081	13,401	10,075	11,425	14,721	15,088	8,507	14,061	19,533	17,528
イタリア	5,198	5,879	5,425	5,108	5,811	4,793	2,883	4,517	5,091	4,402
ポーランド	60	75	224	379	505	897	322	569	686	276
ハンガリー	36	77	183	142	196	247	197	202	961	974
スロバキア	1	39	181	46	106	208	233	832	415	174
スペイン	2,031	2,826	2,709	2,409	2,295	2,296	1,348	1,897	3,091	2,005
スウェーデン	386	833	939	865	1,046	1,100	587	682	1,016	1,016
スイス	240	310	442	458	532	488	347	447	673	584
イギリス	1,111	785	1,363	1,220	1,050	856	635	878	1,514	2,943
チェコ	498	163	513	551	836	795	257	402	1,618	1,040
トルコ	51	24	207	368	272	575	210	338	864	995
その他	267	210	602	1,648	2,244	1,958	1,122	1,769	2,183	2,770
アフリカ	**108**	**87**	**204**	**426**	**263**	**454**	**196**	**259**	**323**	**393**
その他	**－**	**－**	**－**	**583**	**384**	**337**	**230**	**501**	**6,954**	**4,953**
合計	**81,476**	**97,207**	**120,100**	**111,052**	**113,657**	**112,972**	**60,018**	**118,448**	**166,028**	**159,346**

出所：国際ロボット連盟（IFR）「World Robotics 2013」

3.2.1. 米州

米州では、アメリカ、カナダ、メキシコ及びブラジルの4ヶ国を中心に取りあげる。これらの国々での特徴は、自動車産業向けへのロボットの出荷割合が何れの国においても過半を超えている。

なお、米国ロボット協会（RIA: Robotic Industries Association）による米州の業種別・用途別統計はこれまで、アメリカ、カナダ及びメキシコの3ヶ国を、「北米」として1つにまとめてIFRに報告されている。したがって国ごとに分けての報告は2011年からとなっているため、3ヶ国の産業別動向についてのトレンドを充分精査できるまでにはなっていない。

（1）アメリカ

第3章

アメリカは、自動車、航空機、コンピュータ、化学など主な工業品の生産及び販売数において世界のトップクラスの座を保ち続けているが、その背景には人口の多さとその旺盛な消費量があり、同国の製造業の潜在的競争力がうかがえる。

とりわけ、オバマ政権のもとで製造業の復活を掲げるアメリカでは、ロボットの伝統的なユーザ産業である自動車産業を中心に、（表3-4）の通り電子・電気機械、さらには化学産業向けに多く出荷され、出荷台数は2012年に過去最高となった。

また、ロボットの用途では、自動車産業向けのスポット溶接が6,139台とトップであったほか、各産業向けのマテハン用が3,854台、機械産業向けアーク溶接用が2,227台、そして半導体向けのクリーンルーム用が2,002台と続き、この4つの用途で製造業向けの約7割を占めている。

表3-4 アメリカの製造業構成と当該分野でのロボット出荷状況 [1]，[2]

<table>
<tr><th colspan="4">アメリカ合衆国(2008年)</th><th colspan="2">ロボット出荷台数(2012年)</th></tr>
<tr><th></th><th>事業所数</th><th>雇用者数
(千人)</th><th>付加価値額
(億米ドル)</th><th>台数</th><th>(%)</th></tr>
<tr><td>食料品</td><td>・・・</td><td>1,583</td><td>3,214</td><td>672</td><td>3.3%</td></tr>
<tr><td>繊維</td><td>・・・</td><td>438</td><td>345</td><td>16</td><td>0.1%</td></tr>
<tr><td>化学</td><td>・・・</td><td>780</td><td>3,555</td><td>1,482</td><td>7.3%</td></tr>
<tr><td>一次金属</td><td>・・・</td><td>472</td><td>1,013</td><td>734</td><td>3.6%</td></tr>
<tr><td>金属製品</td><td>・・・</td><td>1,641</td><td>1,865</td><td>446</td><td>2.2%</td></tr>
<tr><td>電子機器</td><td>・・・</td><td>1,037</td><td>2,357</td><td rowspan="2">2,980</td><td rowspan="2">14.6%</td></tr>
<tr><td>電気機器</td><td>・・・</td><td>508</td><td>708</td></tr>
<tr><td>一般機械</td><td>・・・</td><td>1,096</td><td>1,708</td><td>753</td><td>3.7%</td></tr>
<tr><td>自動車</td><td>・・・</td><td>702</td><td>1,140</td><td>11,667</td><td>57.3%</td></tr>
<tr><td>船舶・航空</td><td>・・・</td><td>649</td><td>1,245</td><td>－</td><td>－</td></tr>
<tr><td colspan="2">製造業計</td><td>12,748</td><td>・・・</td><td>20,368</td><td>92.1%</td></tr>
</table>

（2）カナダ

カナダでは、日本及びアメリカの自動車メーカがオンタリオ州を中心に工場立地があり、自動車部品メーカも立地することで自動車産業が発達しているほか、有力企業としての航空機・鉄道メーカ、食品飲料、紙関連製品、第一次金属、金属製品、石油化学、薬品などが同国の製造業としてあげられる。

これらの分野での産業用ロボットの出荷は、（**表3-5**）にもある通り自動車産業向けのロボットが6割にも達しているほか、食料品向けに167台、そして石油化学及び薬品としての化学向けに100台と続いている。

表3-5　カナダの製造業構成と当該分野でのロボット出荷状況[1]，[2]

<table>
<tr><th colspan="4">カナダ(2009年)</th><th colspan="2">ロボット出荷台数(2012年)</th></tr>
<tr><th></th><th>事業所数</th><th>雇用者数
(千人)</th><th>付加価値額
(百万加ドル)</th><th>台数</th><th>(%)</th></tr>
<tr><td>食料品</td><td>…</td><td>165</td><td>22,722</td><td>167</td><td>10.1%</td></tr>
<tr><td>繊維</td><td>…</td><td>67</td><td>5,628</td><td>…</td><td>…</td></tr>
<tr><td>化学</td><td>…</td><td>95</td><td>15,679</td><td>100</td><td>6.0%</td></tr>
<tr><td>一次金属</td><td>…</td><td>62</td><td>11,515</td><td>67</td><td>4.1%</td></tr>
<tr><td>金属製品</td><td>…</td><td>204</td><td>19,409</td><td>46</td><td>2.8%</td></tr>
<tr><td>電子機器</td><td>…</td><td>85</td><td>10,582</td><td rowspan="2">82</td><td rowspan="2">5.0%</td></tr>
<tr><td>電気機器</td><td>…</td><td>35</td><td>3,570</td></tr>
<tr><td>一般機械</td><td>…</td><td>122</td><td>16,163</td><td>30</td><td>1.8%</td></tr>
<tr><td>自動車</td><td>…</td><td>49</td><td>8,209</td><td>1,001</td><td>60.6%</td></tr>
<tr><td>船舶・航空</td><td>…</td><td>8</td><td>542</td><td>–</td><td>–</td></tr>
<tr><td colspan="2">製造業計</td><td>…</td><td>…</td><td>1,653</td><td>90.3%</td></tr>
</table>

（3）メキシコ

メキシコは、1994年1月1日に北米自由貿易協定（NAFTA）が発効した後、その安価な労働力を生かしてアメリカやカナダ向けの自動車や家電製品の生産立地が進んできた。この結果、ロボットの需要も確実に伸びており、この10年で平均2倍以上の市場にまで発展するとともに、特に自動車産業向け（**表3-6**）の出荷台数は8割近くに達している。

表3-6　メキシコの製造業構成と当該分野でのロボット出荷状況 [1]，[2]

	メキシコ(2010年)			ロボット出荷台数(2012年)	
	事業所数	雇用者数(千人)	付加価値額(億ペソ)	台数	(%)
食料品	143,738	733	3,824	49	2.4%
繊維	1,288	247	435	–	–
化学	561	152	1,749	193	9.6%
一次金属	321	73	1,122	38	1.9%
金属製品	53,709	224	526	2	0.1%
電子機器	455	79	476	17	0.8%
電気機器	37	37	66		
一般機械	393	161	620	55	2.7%
自動車	329	196	409	1,557	77.7%
船舶・航空	757	445	2,334	–	–
製造業計	205,834	3,045	15,723	2,004	95.4%

（4）ブラジル

ブラジルは、日本やアメリカ、さらにはドイツやフランスなどヨーロッパなどの先進工業国からの直接投資による現地生産や合弁企業の設立も急増し、自動車や造船、製鉄、さらには航空機産業などが盛んである。

ブラジル経済の躍進とともに、この10年でロボット市場は7倍以上となったが、その仕向け先の約8割が自動車産業向けとなっている（表3-7）。

表3-7　ブラジルの製造業構成と当該分野でのロボット出荷状況 [1]，[2]

	ブラジル(2010年)			ロボット出荷台数(2012年)	
	事業所数	雇用者数(千人)	付加価値額(百万レアル)	台数	(%)
食料品	27,605	1,486	118,714	12	0.8%
繊維	33,918	980	31,706	–	–
化学	7,302	508	81,139	146	9.7%
一次金属	2,948	237	44,549	11	0.7%
金属製品	18,894	515	32,346	23	1.5%
電子機器	2,557	170	20,014	3	0.2%
電気機器	3,176	230	21,453		
一般機械	9,128	409	39,693	37	2.5%
自動車	4,404	530	83,095	1,179	78.3%
船舶・航空	731	100	12,454	–	–
製造業計	185,032	7,698	727,843	1,505	93.8%

3.2.2. アジア／豪州

アジア／豪州では、日本、中国、韓国、台湾、シンガポール、タイ、インド、そしてオーストラリア／ニュージランドの8ヶ国・地域を中心に取りあげる。

我が国をはじめ、中国、韓国、台湾地域での東アジア諸国は、電子・電気産業が盛んであるほか、中国、日本、韓国は自動車産業も盛んであることで、同分野向けのロボット需要が見られる。また、インド、ASEAN地域などでも、先進工業国からの生産工場の立地が進むことで、これら地域でのロボット市場は急激に拡大の方向にある。

（1）日本

我が国の製造業は、（表3-8）にもあるように、電気機械、自動車、一般機械、化学等の技術集約度と生産性の高い産業とともに、技術集約度が低いながら景気に大きく影響を受けることがない3品産業（食料品、医薬品、化粧品）向けの出荷台数が、リーマンショック後においても減ることなく逆に増加するなど存在感を示している。

その一方、我が国ロボット産業の発展は、これまで我が国の製造業に大きく依存してきたが、近年、グローバル化の進展とともに、2大ユーザ産業である自動車や電気・電子産業を中心に製造業の海外展開が進むことでロボットの国内市場は出荷全体の3割程度までに縮小の方向にある。

表3-8　日本の製造業構成と当該分野でのロボット出荷状況 [1]，[2]

	日本（2010年）			ロボット出荷台数（2012年）	
	事業所数	雇用者数（千人）	付加価値額（10億円）	台数	（%）
食料品	･･･	1,202	11,616	584	2.1%
繊維	･･･	274	1,391	−	−
化学	･･･	333	10,536	2,056	7.4%
一次金属	･･･	303	4,998	144	0.5%
金属製品	･･･	590	5,482	1,329	4.8%
電子機器	･･･	738	10,451	9,570	34.3%
電気機器	･･･	402	4,954		
一般機械	･･･	875	9,830	1,003	3.6%
自動車	･･･	807	11,849	9,627	34.5%
船舶・航空	･･･	119	1,806	−	−
製造業計		7,263	90,411	27,921	87.1%

（2）中国

中国のGDPは2010年に日本を抜き、米国に次ぐ経済大国となったが、13億人余の人口を有

することで近年の目覚ましい経済成長とともに、潜在市場がさらに顕在化しつつある。家電製品は勿論のこと、自動車市場では、2012年に米国を抜き世界最大となっている。

一方、これまでの中国では、大量かつ安価な労働力で製品を安く製造し、強い価格競争力で先進国に輸出するビジネスモデルを築いてきた。しかし、近年になり労働者の確保が難しくなるとともに、賃金の高騰が顕在化するにつれ、こうしたモデルが崩れつつある。このような中、より国際競争力を高めるためには製品の品質、信頼性のアップが不可欠となり、その確保のためにロボット化の波が急速に広がりつつある。

中国では、世界最大の自動車市場となるとともに、電子産業ではEMSやODMなどの形態で受託生産を行う台湾系企業が進出しており、ロボットのこれら分野向けの出荷が多いことが(**表3-9**)からもうかがわれる。また、ロボットの用途別の設置台数内訳を見ると、溶接用ロボット、特にアーク溶接用ロボットの増加が著しい。これは主に自動車、自動車部品、建設機械等の産業分野での導入が急速に進んだ結果とみられるほか、自動車産業向けにはすでに我が国を上回る数のロボットが出荷されている。

表3-9　中国の製造業構成と当該分野でのロボット出荷状況 [1]，[2]

	中国(2010年)			ロボット出荷台数(2012年)	
	事業所数	雇用者数(千人)	付加価値額(07年)(億元)	台数	(%)
食料品	41,451	6,971	11,632	482	2.7%
繊維	53,946	11,202	8,380	1	0.0%
化学	38,505	6,907	10,635	1,347	7.6%
一次金属	22,483	6,080	14,064	182	1.0%
金属製品	31,724	4,129	4,503	552	3.1%
電子機器	51,520	8,537	8,319	3,289	18.5%
電気機器	1,569	1,770	2,194		
一般機械	22,890	4,613	4,734	130	0.7%
自動車	14,044	6,043	6,645	9,642	54.2%
船舶・航空	13,358	3,615	5,098	−	−
製造業計	422,532	83,915	98,533	17,774	87.9%

(3) 韓国

韓国の主要な産業は、情報通信や半導体、造船、鉄鋼、自動車などで、主要な企業としてサムスン電子や、現代自動車、LG電子、ポスコ、現代重工業など、財閥企業を中心とした産業展開がなされている。

特に、韓国ではスマートフォンやLCD(液晶ディスプレイ)や半導体メモリーの生産拠点として、そして自動車の生産拠点として世界でも重要な地位を占めるなど存在感を示している。(**表3-10**)にも見られるように、産業用ロボットの出荷先業種では電子機器・電子機械分野

が主で、2012年では約7割に達するほどの高率となっており、他国の出荷形態と大きな違いを見せているほか、電子機器・電子機械分野向けの出荷台数は、近年我が国を凌いでいる。それにつづいて、自動車向けが3割弱となるなど、両産業で出荷台数の9割以上を占めている。

表3-10　韓国の製造業構成と当該分野でのロボット出荷状況 [1]，[2]

韓国(2008年)				ロボット出荷台数(2012年)	
	事業所数	雇用者数(千人)	付加価値額(10億ウォン)	台数	(%)
食料品	・・・	158	22,438	92	0.5%
繊維	・・・	165	13,135	−	−
化学	・・・	123	32,107	775	4.3%
一次金属	・・・	118	33,426	57	0.3%
金属製品	・・・	218	20,306	97	0.5%
電子機器	・・・	395	80,456	12,053	66.8%
電気機器	・・・	135	14,765		
一般機械	・・・	257	28,973	25	0.1%
自動車	・・・	246	37,672	4,835	26.8%
船舶・航空	・・・	145	24,172	−	−
製造業計		2,389	367,630	18,055	99.3%

（4）台湾（地域）

台湾は、中国の国連加盟によって国連からの脱退（1971年）を余儀なくされた関係から、UNIDO（国際連合工業開発機関）の統計対象から除外されている。したがって製造業構成についてのデータはない。

しかしながら、台湾ではハイテク産業としての電気・電子産業、とりわけ半導体やLCD産業、パソコンのマザーボードや携帯電話などの情報通信機器、さらには自動車電装品等の産業が発展しているほか、プラスチック産業や自転車産業においても世界トップあるいは有力な企業が存在している。

特に電子産業では、EMSやODMなどの形態で先進国企業からの委託生産を行う企業が多いのも特徴である。

IFR統計では、台湾の需要産業別統計はなく、（表3-11）にもあるように用途別統計のみとなっているが、台湾におけるロボット市場はこれらの産業を背景とした市場展開がなされてきたといえる。

最大の需要先は、2010年まではLCD産業向けがトップであったが、世界的な液晶パネル不況により、台湾でもここ2年は大幅なマイナスとなっている。その一方で、組立向けが確実な伸びが見られるほか、自動車関係を中心とした溶接、機械加工などが目立った仕向け用途となっている。

表3-11　台湾の用途別出荷台数推移 [1]，[2]

	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年
ハンドリング	**692**	**894**	**369**	**985**	**1,365**	**740**
樹脂成形	133	82	91	194	283	195
プレス、鍛造等	141			23		7
機械加工	166	239	24	421	556	180
入出荷	12	14	52	20	34	24
マテハン	211	551	165	197	395	306
その他	29	8	37	130	97	28
溶接・接合	**548**	**547**	**258**	**605**	**608**	**534**
アーク溶接	499	507	204	541	532	433
スポット溶接	26	17	52	56	70	101
その他	23	23	2	8	6	
塗装	**50**	**45**	**108**	**91**	**78**	**88**
塗装	38	42	108	74	72	77
その他	12	3		17	6	11
プロセス	**18**	**11**	**9**	**177**	**115**	**734**
レーザ切断			1	1		564
研磨・バリ取り等	15	11	5	162	106	162
その他	3		3	14	9	8
組立関係	**7**	**56**	**67**	**356**	**1,185**	**878**
その他	**1,084**	**1,806**	**663**	**1,068**	**334**	**386**
クリーンルーム（液晶）	1,036	1,760	652	1,001	291	350
〃　（半導体）	20	19		31	3	17
その他	28	27	11	36	40	19
合　計	**2,399**	**3,359**	**1,474**	**3,290**	**3,688**	**3,368**

（5）シンガポール

シンガポールは、以前より海運産業や航空産業が発達し、アジアの海及び空のハブ機能を有しているが、工業分野においても外資導入により、重工業を中心とする工業化政策をとり、東南アジアでは最大級の工業国に成長している。特に、IT製品（電子機器産業）の出荷額が高いのが特徴である。

IFR統計（表3-12）では、シンガポールでの需要産業別統計はなく、用途別統計のみとなっているが、2012年の出荷台数1,177台のうち、半導体向けが717台と6割を超え、続いて組立向けの171台、そして樹脂成形用の103台となっている。シンガポールには世界第2位のEMS企業であるフレクストロニクス（Flextronics）社があることからも、IT産業向けでの活用といえよう。

表3-12　シンガポールの製造業構成 [1]，[2]

	シンガポール(2010年)			ロボット出荷台数(2012年)	
	事業所数	雇用者数(千人)	付加価値額(百万シンガポールドル)	台数	(%)
食料品	832	25.6	1,864.0	・・・	・・・
繊維	555	3.5	132	・・・	・・・
化学	321	21.9	13,357	・・・	・・・
一次金属	30	2.5	165	・・・	・・・
金属製品	1,269	41.2	2,608	・・・	・・・
電子機器	295	92.3	20,714	・・・	・・・
電気機器	247	7.7	633	・・・	・・・
一般機械	1,410	55.9	5,708	・・・	・・・
自動車	77	2.7	183	・・・	・・・
船舶・航空	1,057	85.7	6,035	・・・	・・・
製造業計	9,090	414.2	57,880	・・・	・・・

（6）タイ

タイは、食料品、繊維等の技術集積が低い分野の存在感はあるものの、日本はタイにとって最大の投資国となっているなか（貿易面では中国がトップ）、日系自動車メーカー及び部品メーカーや、家電、精密機器、さらには空調メーカー等が多く進出し、国内市場への供給とともに、関税特典がある ASEAN 諸国内への輸出拠点としても活用されている。

特に、自動車や電気機器の生産が経済成長を牽引し、製造業は順調に成長を遂げているが、特にタイの自動車生産台数は2012 年に 245 万台に達し、世界 9 位の生産国となっている。

表3-13　タイの製造業構成 [1]，[2]

	タイ(2006年)			ロボット出荷台数(2012年)	
	事業所数	雇用者数(千人)	付加価値額(億バーツ)	台数	(%)
食料品	116,211	627	2,760	・・・	・・・
繊維	165,074	657	1,273	・・・	・・・
化学	3,618	156	1,112	・・・	・・・
一次金属	1,790	71	536	・・・	・・・
金属製品	34,308	253	945	・・・	・・・
電子機器	5,050	160	963	・・・	・・・
電気機器	73	46	178	・・・	・・・
一般機械	1,175	123	547	・・・	・・・
自動車	753	290	2,589	・・・	・・・
船舶・航空	1,336	159	2,158	・・・	・・・
製造業計	457,968	3,819	17,588	・・・	・・・

現在、IFR統計（**表3-13**）による同国からの需要産業別統計はなく、用途別統計のみとなっていることで産業別での動向を精査出来ないものの、2012年の用途別では、4,028台のうち1,661台がアーク溶接、スポット溶接が451台と溶接ロボットが出荷台数の5割を超えるとともに、樹脂成形用が918台と続いている。これらは、自動車及び自動車部品向けの溶接であったり、家電や自動車向けのプラスチック成型向けと思われる。

（7）インド

中国に次ぐ世界第2位の人口を有するインドの製造業構成（**表3-14**）を見た場合、技術的集約度が低い食料品及び繊維産業での就業が高いのが現状である。その一方、増え続ける人口と国内需要のギャップを埋めるうえで政府は、製造業の強化に注力しているといわれ、自動車につぐ重点分野では、ITに係わる電子産業、さらには工作機械、バイオ等の医薬、そして繊維を優位性のある産業として育成することとしている。

このような製造業構成のもと、ロボットの出荷先では、2012年より需要産業別での統計をとりはじめているが、自動車産業向けには1,061台と全体の8割を占め、ついで化学向けの145台となっている。用途別でもアーク溶接がトップの647台、ついでスポット溶接の187台と溶接で840台程を占め、その比率は年々上昇傾向にあることから、自動車産業向けの優位性は当分続くものと思われる。

表3-14　インドの製造業構成と当該分野でのロボット出荷状況 [1]，[2]

	インド（2009年）			ロボット出荷台数（2012年）	
	事業所数	雇用者数 （千人）	付加価値額 （億ルピー）	台数	（%）
食料品	30,599	2,008	5,936	1	0.1%
繊維	19,488	2,242	4,860	–	–
化学	11,894	1,000	10,272	145	10.8%
一次金属	8,920	892	9,041	4	0.3%
金属製品	10,854	555	2,559	51	3.8%
電子機器	1,877	244	2,123	14	1.0%
電気機器	5,487	442	3,142		
一般機械	9,010	559	4,425	15	1.1%
自動車	4,186	619	4,313	1,061	79.4%
船舶・航空	1,804	221	1,893	–	–
製造業計	148,668	11,308	65,926	1,337	96.6%

（8）オーストラリア

IFRでは現在、豪州としてオーストラリア、ニュージランドを一緒に扱っているほか、IFR統計での需要産業別統計はなく、用途別統計のみとなっている。ここでは、豪州をオーストラリア一国としてとらえ、ロボットの統計は豪州の数字とする。

オーストラリアは、その豊富なエネルギー資源、さらには農産品が中心となっていることから、全産業に占める製造業の地位は低いと言わざるを得ない。（表3-15）をみても製造業分野の就業者数は少なく、その中でも食料品の占める割合が、ほかの先進国と比較しても1/4を占めるまでになっている。

このような中で、豪州の2012年出荷台数は1,324台となっているが、その約7割（888台）が組立分野向けであるほか、2番目にマテハン用として108台となっている。

表3-15　オーストラリアの製造業構成 [1]，[2]

	オーストラリア(2010年)			ロボット出荷台数(2012年)	
	事業所数	雇用者数（千人）	付加価値額（百万豪ドル）	台数	(%)
食料品	･･･	248.6	19,925	･･･	･･･
繊維	･･･	24.2	1,527	･･･	･･･
化学	･･･	37.2	6,820	･･･	･･･
一次金属	･･･	58.6	6,844	･･･	･･･
金属製品	･･･	105.9	9,506	･･･	･･･
電子機器	･･･	50.5	4,756	･･･	･･･
電気機器	･･･	15.3	1,472	･･･	･･･
一般機械	･･･	18.9	1,655	･･･	･･･
自動車	･･･	･･･	･･･	･･･	･･･
船舶・航空	･･･	43.1	4,122	･･･	･･･
製造業計		955.0	96,809	･･･	･･･

3.2.3.　欧州

欧州の債務危機による景気後退で、欧州全体でのロボット需要に停滞感はあるものの、基調としてはリーマンショック以前の需要を遙かに上回る伸びとなっている。

欧州での主要ロボット導入先進国であり、またその設置台数が多い、ドイツ、イタリア、フランス、イギリス、そしてスペインの5ヶ国を中心に取りあげる。

（1）ドイツ

欧州で最大の経済力を有するドイツは、工業国であるとともに、自動車、化学、機械、金属、電気製品などの製造業において、世界的に競争力を有するメーカが各分野に存在する。

このようななか、（表3-16）の通り、2012年のロボットの出荷先はそのトップが自動車の8,849台と約6割を占めるものの、化学、金属製品、電子・電気、一般機械、食料品など製造業構成に見合った形での数が出荷されている。

これらの出荷の用途別を見た場合、マテハン用として5,456台、つづいて樹脂成形用の1,476台、アーク溶接の1,361台、入出荷用の1,298台、スポット溶接用の1,161台となっている。

表3-16　ドイツの製造業構成と当該分野でのロボット出荷状況 [1], [2]

	ドイツ(2009年)			ロボット出荷台数(2012年)	
	事業所数	雇用者数(千人)	付加価値額(百万ユーロ)	台数	(%)
食料品	22,944	765	34,009	588	3.9%
繊維	6,486	114	4,849	19	0.1%
化学	3,859	440	45,064	1,706	11.5%
一次金属	2,777	258	15,992	439	2.9%
金属製品	37,383	744	35,276	1,124	7.5%
電子機器	8,026	298	18,156	892	6.0%
電気機器	5,419	472	31,085		
一般機械	15,107	1,018	59,825	698	4.7%
自動車	2,424	754	43,639	8,849	59.4%
船舶・航空	699	108	7,800	–	–
製造業計	179,834	6,559	381,548	14,889	96.1%

（2）イタリア

イタリアの製造業は、繊維工業と、硫酸、アンモニア、水酸化ナトリウム製造などの化学工業が有名であるほか、自動車、鉄鋼、ゴム、重機械や電気機器、特に家電製品、さらにはパスタなどの食料品の製造業が盛んである。

（表3-17）でのイタリアのロボット出荷状況を見た場合、まず2012年の最大の出荷先は770台と自動車分野が約3割で、つづいて食料品の614台、化学の490台、一般機械の470台、金属製品の422台となるなど、大きな偏りがない出荷となっている。

表3-17　イタリアの製造業構成と当該分野でのロボット出荷状況 [1], [2]

	イタリア(2009年)			ロボット出荷台数(2012年)	
	事業所数	雇用者数(千人)	付加価値額(百万ユーロ)	台数	(%)
食料品	57,751	352	20,736	614	18.1%
繊維	51,913	338	11,983	16	0.5%
化学	5,045	175	14,968	490	14.4%
一次金属	3,953	129	5,543	217	6.4%
金属製品	77,462	502	23,396	422	12.4%
電子機器	6,411	110	6,088	158	4.6%
電気機器	9,220	160	8,645		
一般機械	24,072	439	23,953	470	13.8%
自動車	2,254	173	7,603	770	22.7%
船舶・航空	2,956	84	4,684	–	–
製造業計	439,112	3,583	180,257	3,398	92.9%

このように、同国の製造業構造に準じたロボットの出荷傾向が見受けられ、これが他の国・地域とは異なる特徴となっている。

（3）フランス

フランスの製造業は、食品工業、製材、製紙、航空機／鉄道車両、機械、電気機械、金属、石油化学工業、自動車産業が盛んである。食料品では、世界一の生産高を誇るワインのほかチーズ、バター、肉、製糖などで競争力を有するほか、製材、製紙は欧州トップ、石油化学工業は燃料製造、プラスチック、合成ゴム、タイヤと全部門にわたっている。そして、自動車製造業は世界7位の規模である。

このような製造業の状況のもと、2012年のロボット出荷の状況は、製造業全体で2,652台のうち、自動車向けが1,351台と約5割を占めるほか、化学の322台（約12%）、食料品の315台（約12%）、そして金属製品向けに192台（約7%）となっている（表3-18）。

表3-18　フランスの製造業構成と当該分野でのロボット出荷状況 [1]，[2]

	フランス(2009年)			ロボット出荷台数(2012年)	
	事業所数	雇用者数（千人）	付加価値額（百万ユーロ）	台数	(%)
食料品	60,034	584	32,362	315	11.9%
繊維	10,932	98	4,243	3	0.1%
化学	3,630	233	21,381	322	12.1%
一次金属	837	67	3,930	76	2.9%
金属製品	20,654	324	16,321	192	7.2%
電子機器	3,406	147	8,980	115	4.3%
電気機器	2,489	128	8,079		
一般機械	6,134	196	11,880	64	2.4%
自動車	1,797	234	10,914	1,351	50.9%
船舶・航空	940	126	10,530	–	–
製造業計	207,040	3,054	180,452	2,652	91.9%

（4）イギリス

産業革命発祥の地であるイギリスは今日、世界屈指の金融センターとなっている。同国の製造業ではグラクソ・スミスクライン社やアストラゼネカ社といった医薬品メーカとして世界ランク6、7位の企業があるほど医薬・バイオテクノロジー産業が盛んで、その規模は欧州最大ともいわれている。また同じ化学分野では、石油・石油製品が同国の最大の輸出品となるなど化学工業が盛んである。

その他では、自動車では、ロールス・ロイス、ベントレー、ジャガー等のブランドメーカ（多

くが外資系となる）をはじめとして中小などメーカ数は数多くあるが、2012年時点で160万台弱の生産となっている。

このような状況のもと、ロボット出荷状況は（表3-3）にもあったように、この10年間では年間1,000台前後の出荷であったが、2012年には3,000台に迫る出荷となった。この大きな要因は、（表3-19）にもあるように自動車向けに約6割にも達する1,676台が出荷されたことで、次いで化学、そして食料品向けとなっている。

表3-19　イギリスの製造業構成と当該分野でのロボット出荷状況 [1]，[2]

	イギリス(2009年)			ロボット出荷台数(2012年)	
	事業所数	雇用者数(千人)	付加価値額(百万ポンド)	台数	(%)
食料品	7,275	345	25,233	149	5.3%
繊維	7,640	55	2,461	−	−
化学	3,175	158	15,213	192	6.9%
一次金属	1,068	68	473	34	1.2%
金属製品	26,817	307	11,772	59	2.1%
電子機器	6,705	76	6,790	32	0.0%
電気機器	2,958	62	4,039		
一般機械	9,209	192	10,560	45	1.6%
自動車	3,001	22	5,849	1,676	59.9%
船舶・航空	1,869	38	7,787	−	−
製造業計	128,468	2,495	134,824	2,800	97.4%

（5）スペイン

スペインでは、欧州債務危機の影響が依然として厳しく、同国の失業率は20%代後半、500万人近くの失業者を抱えるという深刻な状況にある。

産業構造も建設業と観光業が中心といわれるなか、製造業では、食料品、化学、産業機械、そして自動車などの産業があげられる。特に自動車ではセアト社やエナサ社を主に2000年にはフランスと並び年間生産台数が300万台を超えるほどの規模であったものの、2012年現在では200万台をも下回る規模となっている（表3-20）。

このような状況のもと、ロボットの出荷は2012年にマイナス成長となったが、最大の出荷先は自動車向けの1,124台（製造業向け出荷の約60%）、次いで食料品（256台、同約14%）、化学（163台、同約9%）と続いている。

表3-20　スペインの製造業構成と当該分野でのロボット出荷状況 [1]，[2]

スペイン(2009年)				ロボット出荷台数(2012年)	
	事業所数	雇用者数(千人)	付加価値額(百万ユーロ)	台数	(%)
食料品	27,493	360	19,921	256	13.6%
繊維	17,038	106	3,441	2	0.1%
化学	4,002	124	9,893	163	8.7%
一次金属	1,186	53	2,256	68	3.6%
金属製品	39,261	274	11,637	153	8.2%
電子機器	1,810	30	1,688	23	1.2%
電気機器	2,666	73	4,349		
一般機械	6,509	112	5,898	15	0.8%
自動車	2,151	145	7,072	1,124	59.9%
船舶・航空	806	44	2,977	−	−
製造業計	191,973	1,988	100,825	1,877	96.1%

欧州ではそのほか、リーマンショック後に東欧諸国を中心にその痛手から抜け出せない国々が多いが、そのなかでもチェコは確実にロボットの普及がすすむとともに、トルコにおいても日本及び欧州自動車メーカの合弁工場の立地が進むことでの確かな需要の伸びが見られる。

参考文献

[1]　IFR,「World Robotics2013」.

[2]　(公財) 矢野恒太記念会「世界国勢図会2013/14」.

[3]　(独) 日本貿易振興機構,Webサイト「世界貿易投資報告」より各国の経済.

[4]　各種資料より,各国の経済・産業情報を作成.

3-1

〜産業用ロボットと ヒューマノイドとの境界は薄れた〜

人間の姿かたちとはかけ離れた自動化機器が「産業用ロボット」の名で工場で使われるようになってから40年が経過した。10歳のころ、小学校の社会科見学でロボットの稼働する工場を見学して「どこにロボットがいるの」と鉄腕アトムを探していた少年がすでに知天命の歳になろうとしている。

ここにきて産業用以外の分野でのロボットの活躍が目立ち始めた。掃除ロボットや無人運転自動車など人間の姿かたちとはかけ離れた自動化機器がロボットと呼ばれているのである。これは最近始まったことではなく、日本ロボット工業会（JARA）が日本産業用ロボット工業会（JIRA）と呼ばれた時代にはプリント基板に部品を自動搭載する機械のような形をした機械がロボットに分類されていた。こうしたロボット機能の追求の対極にあるのがヒューマノイドである。

人類の祖先が樹上生活をやめて地上に降り立った時に取得した形質すなわち、移動するための２本の脚・移動するための機能から解放された２本の腕・最上部にあり触覚以外のすべてのセンサと知能を備えた一つの頭などを機械仕掛けで実現し、できるだけ人間に近いことをやらせる試みであり、機能は後回しにして形態を追求しようとする。

産業用ロボットが安全性確保のために閉じ込められていた檻から解放されたのをきっかけに、ヒューマノイドの開発をしていた企業や研究者がヒューマノイドを産業用に使うことを考えて、商品化が始まった。一方、産業用ロボットの側でも双腕ロボットが商品化され形の上では大きく人間の側に近づいた。

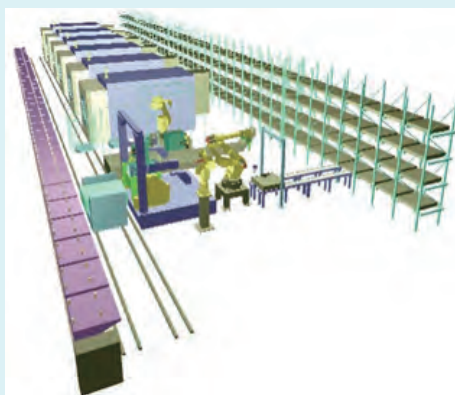
そこで古くからの問題である「人間のまね」を再検討してみたい。半世紀前に日本に自動組立機を導入しようとしたときにお手本にしたのは、欧米のたばこ・白熱電球・写真フィルムの組立機であった。工賃の安く器用な作業者が雇える日本では手動組立に対抗できるのは、手ではとてもかなわない速さのたばこ・熱くて持てない電球・暗闇作業で作業者の持つ視覚センサが封印される写真フィルムであった。これらカムを使った高速自動機は人間の組立作業をまねしてそのまま自動化したのではない。対象となる製品の設計改善をトコトン追求して機能最優先でその製品のためのラインを考えたのである。しかし皮肉なことにこの3製品は揃いも揃っていま商品寿命が尽きようとしている。

欧米から学んだ日本の技術者はコンピュータを利用した多品種生産の時代を切り開いた。産業用ロボットの全盛の時代である。日本が世界の製造業の中心であるかに見えた時期である。この時期の産業用ロボットの演算能力・軸構成・センサ機能では、とても人間の真似は出来なかった。

第3章

産業用ロボットに知能ロボットと呼ばれる視覚や力覚に強い機種が現れ、新しい時代が開かれようとしている。一見したところ人間のすることをそのまままねようとしているかに見えるが、実績を上げている生産現場には30年・40年の年季の入った自動機が隣に残っており、その時代の製品設計改善の成果が残り香となっていることがある。機械にとって組み立てやすい設計は人間にとっても組み立てやすいので、自動化のために製品設計を改善したために自動化がペイしなくなって悔しい思いをしたエンジニアの無念の思いがいま晴らされようとしている。

人間の目は頭の前面に2つ付いておりヒューマノイドはこれを踏襲するが産業用ロボットになったときは指先にも目をつけて3つ目や4つ目にしたり、人間の腕は2本に限られるが、2台協調で4本にしたり、「千手観音」と呼ばれるほど増やしたりする。

須田 大春（株式会社SDL サスティナブルデベロップメント研究所）

3.3. 我が国の産業用ロボットの競争力強化・業界活性化

ここまでで述べてきた、産業用ロボットの現状と課題について、技術面、体制強化面、人材育成面から再整理を行う。

3.3.1. 技術強化策

個々の技術解説については技術書やサーベイも多く展開方向も多様なので、ここでは改めて述べないが、それぞれの技術の背景にある課題と、今後望まれる技術への取組方向について述べる。

（1）ロボット製品としての技術

ロボットそのものの技術については、産業用ロボット普及元年のはるか以前から、大学や国家研究機関で取り組まれてきたが[1] [2]、実用上の情報処理ハードウェアや機構要素技術の制約から、すぐには実産業に適用されなかったもの、あるいは具体的な産業適用ニーズが熟するまで長い時を要したものも多くある。いずれにせよ技術的な可能性と実用的な採否にギャップがあるのは当然のことである。社会情勢の変化からくる切実なニーズがなければ可能性はあくまでも可能性でしかない。切実なニーズは実用化、さらには事業化の最大の原動力である。ここでは現在のグローバル市場化、グローバル競争激化を社会背景として現在、切実に期待される技術について整理する。

A）機械要素技術への期待

①　形としてのロボットと要素技術

現在、産業用ロボット機構としては、単軸型・直交型のようなスライド軸構成型、極座標型・円筒座標型・水平関節型のような必要動作に応じた自由度構成型、多用途向けの垂直関節型、さらに特定用途向けのパラレルリンク型・冗長自由度型などが製品化されている。軸構成のバリエーションは適用範囲の広がりに応じて、その用途にもっとも適した形が採用されるものであり、今後とも様々な形のロボットが実用化される。しかし、今後の国際競争激化に向かう産業用ロボットでは、軸構成や形を目的に応じて自在に産みだす技術は当然必要ではあるが、追従も容易で国際競争力としては不十分である。今後は、様々な構成の信頼性の高い機械を容易に構成できる機構要素技術や機械設計技術といったごく基本的な機械技術の深掘りに今一度目を向けるべきである。

②　マテリアルイノベーション

ある程度成熟した機械産業が共通して期待するのは、材料面でのイノベーションである。産業用ロボットでは軽量化、耐環境性、高信頼性といった、航空機や自動車とよく似た種類の材

料面への期待があげられる。これまでの産業用ロボットでは、自動車よりはるかに需要規模が小さく、航空機よりはるかに安価な製品のため、材料の研究開発まで踏む込める機会はごく少なかった。そのため、今使えるものをどう使うか、というスタンスに甘んじてきた傾向は否めない。材料技術というのは要求仕様側からの踏込が少なければ、材料側単独では取り組みにくいものである。したがってロボットの材料イノベーションには、ニーズとしてのロボット産業と、シーズとしての機械材料開発が大きく接近することが必要である。ごく踏み込んだニーズ・シーズから生まれた材料には、材料シーズそのものの競争力と、その材料の適用方法を熟知したニーズ側双方に強い競争力をもたらす。さらに、機械としての産業用ロボットにおける材料イノベーションは、生産機械全般への波及効果も望める。

B）コントローラ・制御技術への期待

ロボットの制御技術の多くは、古くから研究開発はかなり先行しており、「プロセッサのパフォーマンスやハードウェア技術が進歩したので実現できた」というパターンが多い。産業用ロボットにとっては、制御技術は生命線であり、今後とも数多くの研究開発成果を背景に、ハードウェアの発展と調歩して、着実に進歩すると思われる。

ここでは、ロボットがメカトロ製品であるということに着目して、制御技術への期待について、ワンポイントのみ述べる。メカトロ製品とは一つの目的を機械側と電気電子側双方から合理的なアプローチにより解決した製品である。例えば位置決め精度を上げるにしても、タクトタイムを上げるにしても、機械で解決するというアプローチもあれば、制御で解決するというアプローチもある。いわば製品競争力はその両者の組み合わせで、目標仕様とコストパフォーマンスをいかにクリアしているかで決まる。

すでに、溶接などの主たる普及用途向けロボットではメカトロ的最適化が進んでいるものの、その他の用途では、一般論の域を出ていない。今後、本来のメカトロ的取組でその用途のベストロボットを求めることで、その他多くの用途への拡大に努める必要がある。

機械と制御の両方を目的に合わせて特殊化することにより、極端にエネルギー効率を上げるといった研究開発例[3]なども、今後のメカトロとしてのロボット技術のあり方を示唆している。

C）周辺機器技術への期待

①　インテリジェントセンサ

日本の製造業が国際競争における存在感を高めるには、今後とも、世界一難しい生産に取り組んでいく必要がある。ロボット市場でもこれまで避けてきた難しい作業の自動化へのチャレンジ気運が高まり、産業用ロボットでも、視覚センサや力覚センサ、あるいは触覚センサなどの実現場への適用が本格化してきた。生産現場への普及には、パフォーマンスに優れたセンサというだけではなく、使い方もセットにした製品化が望まれるが、これが意外と難しい。

例えば、ロボットがコネクタを挿入する作業中に、手首部に装着した力覚センサの出力信号波形を人が観察し、うまく挿入できたか否かをその波形から判断することは容易である。とこ

ろが、それを完全にプログラムによる自動化でフレキシブルに対応しようとすると意外と難しい。もちろんプログラミング技術を駆使すればできるが、かなり高度な知識が必要である。

3次元ビジョンセンサの処理画像を人が見て、最初にピックアップすべきワークを決めることも容易であるが、これも自動化するのは難しく、プログラミングには高度な知識が必要である。

これまで、この高度な知識が必要とされることが、システムインテグレータ側でインテリジェントンセンサの適用をためらう大きな理由であった。したがって、さらなるインテリジェントセンサの普及には、アプリケーションにかなり近いレベルでの製品化というのが、ロボットメーカ、センサメーカのクリアすべき課題である。

② フレキシブルエンドエフェクタ

ユニバーサルな多指ハンドなども含め、器用なハンドの研究開発にも産業用ロボットよりもはるかに長い歴史がある。しかし現実の製造現場では、単純で安定した開閉ハンドが大多数である。生産現場では、所定のタクトタイム内に確実に自動作業を完了するためには、ごく安定確実な方法を取らざるを得ないからである。ところがセル生産のように、一台のロボットで複数の作業となると、複数の機能を持つハンドかハンドチェンジャが選択肢となる。ハンドチェンジをせずに複数種類のハンドを使い分けるハンドシステムの製品化[4]もみられる。いずれにせよ、工業用途に耐えられるフレキシブルエンドエフェクタは用途拡大に必要な大きな要因である。

（2）ロボットシステムとしての技術

ロボットは半完成品で、システムインテグレーションにより初めて生産財としての価値が明らかになる。システムインテグレーションから見たロボットの課題は3.1.3で述べたが、技術面から見るとこれまで多くが、経験や工夫により対応してきた傾向も強く、市場のグローバル化に対応するためには、新たな課題も多い。

A）プランニング・プログラミング

① プログラミング言語・プログラミングツール

ロボット産業において最初から課題となっているのが、プログラミングである。溶接などのティーチング主体の用途は先行して普及したものの、組立などのプログラミング主体の用途の普及においては、プログラミングがそう簡単ではないことが障害にもなっている。1980年代のロボット普及初期には、ロボット言語の研究開発も製品化も活発であった。動作を逐一記述する動作記述言語が基本ではあるものの、高位の仕事記述等にも期待がかかっていた。ただし現在では、高位の記述を言語の能力で追求するというよりは、用途に特化したプログラミングツールで対話的に入力する、という流れの方が強い。もっとも、最終的には依然として動作記述型ロボット言語が存在するため、システムインテグレーターでは、自分の得意とするアプリ

ケーションに関する作業ライブラリを充実する、などのいわば自衛手段をとっていることが多い。システムインテグレーターにとっては、言語レスが理想で、さらにプログラミング作業レス、を望むところである。ロボットメーカーとシステムインテグレーターが共同で、プログラミング時間削減目標を具体化し実現努力をするような動きも加速する必要がある。

② プランニング・シミュレーション

三次元モデルによるプランニング・シミュレーションツールもロボット普及初期から取り組まれてきた。プランニングやプログラミングの段階で、十分にプログラムの完成度を高め、現場での立ち上げ時間を短縮することが最大の目標である。そのためにはプランニング、プログラミング、シミュレーションが一体化したツールが望ましい。1980年代〜90年代のプログラミングツールは、効果的に使えそうなものは非常に高価であったり、安価なものはエディタ機能に多少のシミュレーション機能が付いた程度で、快適なツールとは言い難かった。あっと言う間に終わるシミュレーションの準備に半日かかったり、シミュレーション精度が悪かったりという代物であった。最近は比較的入手しやすい価格帯で、環境認識機能や最適化機能を備えた魅力的な製品も出始めており[5]、今後の発展に期待したい。

B）ティーチング・システムセットアップ

オフラインで行うプランニング・プログラミングより、さらにシビアな時間短縮を期待したいのは現場の立ち上げである。物理的にロボットや周辺機器をセットアップする時間もさることながら、最大の課題はティーチング時間の短縮であり、ティーチングレスが理想である。しかし、絶対精度が悪く個体間誤差もある現在のロボットでも、現物合わせであるティーチングがあることで、実用的な機械として使えている。機械としての絶対精度の向上、精度の自動チューニング、自動キャリブレーションなど、ティーチングレスへの努力も引き続き行われている。一方では、力センサやビジョンセンサを駆使して、ティーチング時間を短縮する試みもある。かつては、ティーチングのために余計な仕掛けを持ち込むことはあまり考えられていなかったが、システムインテグレーターにとっては、有効なティーチング用のツールは利益に直結する。

C）セーフティ・インテグレーション[7]

システムインテグレーションにおいて、目標とする機能性能を実現することと同時に、生産設備としての対人安全確保は重要な役回りである。日本国内では製造業就業者およそ1,000万人中、年間28,000人が休業4日以上の死傷災害に遭遇している。うち8,000件は、はさまれ・巻き込まれ事故である[6]。海外諸国に比べて、日本の製造現場は、しっかりと安全管理されているとは言っても400人弱に1人の割合で労働災害に遭遇しているのが現状である。一度人身事故が起きてしまうと、被災者はもちろんのこと関係者のダメージは免れない。安全確保義務は設備運用者にあるが、設備納入者は安全な設備を提供する義務がある。2013年末の時点では、産業用ロボットは安全柵等による隔離が原則であり、物理的柵以外の安全対策も認めら

れる方向にあるが、基本的に生産設備供給者と設備運用者が協力しあって安全な設備とする努力が必要であることに変わりは無い。しかし、設備供給者（システムインテグレーター）と設備運用者（エンドユーザー）、設備機械メーカー（ロボットメーカー）が共通同一レベルの知識と認識を必ずしも持っているとは言えないのが現実である。さらに難しいのは、ロボットシステムのみ単独ではなく、その他の設備と複合して生産システムを構成することの方が多く、ロボットシステムだけで安全対策が閉じていれば良いわけではない[7]。さらに、海外市場では、国ごとに安全に対する考え方や法規の違いもあり、全て把握して確実に実施することは容易ではない。時として、システム設計上、生産性や設備コストを優先するケースも散見されるが、ロボット生産設備の安全・生産性・設備コストをともにクリアする方策を技術課題として取り組む必要がある。

3.3.2.　体制強化策

ロボット先進国である日本は、まずは国際競争において優位に立ち、その上で国際指導力を発揮することが理想像である。日本の製造業全体も同様である。幸いにして日本は、強いものづくり技術や製造業の仕組みを蓄積してきた。グローバル化の時代においては、個々にそのまま活かすことは難しいものの、各種のアライアンス体制により新たな競争力を産み出す努力が必要である。

（1）技術競争力強化体制

製品の競争力は、基本的に自由競争により各企業が切磋琢磨して獲得するものである。例えば3.3.1（1）A）機械要素技術の項で述べた「①形としてのロボットと要素技術」については、ロボット企業間の切磋琢磨により鍛えあげるべきものである。一方「②マテリアルイノベーション」については、ロボット企業の手の内には無い技術分野のため共通の技術強化軸を持つことが必要である。3.1.1（4）C）で述べたシステム-エレメント-マテリアル協業体制がこの強化軸となりえる。そのためには、最終的には個々の企業間の協業になるにしても、まずは業界団体による産産連携の機会設定が有効である。

一方産学連携についても、今後必要なのは異分野間連携の強化である。ロボット技術のアプリケーションとしての異分野連携、例えば自動車とロボットのような連携はよく言われるが、これまで、材料とロボットのような要素分野との連携はあまり強く意識されてこなかった。

ロボットメーカー間、ロボット業界とロボット学界のような近隣の産産連携、産学連携は当然のことながら、今後は異業種異分野との連携による新たな競争力の模索努力が必要である。日本ロボット工業会における、「ロボット技術検討部会」や日本ロボット学会の「産学連携委員会」はこの点についての強化努力を始めたところであるが、今後一層の加速を望む。

（2）グローバルビジネス対応力強化体制

市場のグローバル化はロボットメーカーにとっては輸出対応力強化が課題となるが、日本国

内に残されるSIerにとっては死活問題である。日本の経験豊かなシステムインテグレーターの衰退は3.1.3で述べたようにゆくゆくはロボットメーカーの衰退、ロボット産業の衰退に結び付く危険性が高い。ロボット産業の国際競争力には、SIerの国際競争力が欠かせない。

SIerが単独で海外に進出する、あるいは海外の仕事を受け続けるのは非常に難しく、やはり何らかの企業間で補完しあう体制が必要である。補完しあう形の例として、海外市場における日系製造業と日系SIerの現地協業、ロボットメーカーとSIerの現地協業、現地企業に現場作業を委託した海外協業、国内地方公共組織等をまとめ役としたSIer集団の形成、など様々な形態が考えられる。

一方内需拡大においても、これまで避けてきたような難しい生産システムに挑戦する場合も、キーになるのはやはりSIerである。最近は各ロボットメーカーが積極的にSIerのパートナー化を図っている。これは各社のSIerの囲い込みというよりは、ロボットメーカとSIerの連携強化により国内でのエンジニアリング能力の全体的グレードアップを図る、という背景である。

海外展開にしろ、内需拡大にしろ、これまでロボット産業に関しては、SIerも含めた業界組織化は十分ではなかった。日本ロボット工業会における「システムエンジニアリング部会」の設置は、これに着目したもので、情報普及から検討し始めている。今後、国際活動も含めたSIer活性化機能に期待する。

3.3.3. 人材育成

ロボットは非常にアトラクティブな分野である。技術者にとっても機械、電気電子、情報処理、その他多くの分野にまたがる技術の複合により生まれる魅力的対象である。そのため、ややもすると深い専門性よりは、広い応用力の方に目を奪われがちである。しかし、産業用ロボットは、本来は産業機械であり、生産財である。

技術者としては、将来の展開方向は多様であるにしても、産業機械、生産技術に関わる何らかの深い専門性から出発するのが好ましい。ロボット産業に携わっていると、新たなシステム課題には嫌というほど直面することとなるが、特に社会に出てしまうと、深い基礎技術を極める機会は少ない。ロボットの設計開発者、SIer、ロボットを応用した生産システム技術者のいずれにおいても同様である。

一方、マインド的な側面では、

・多くの選択肢を想像できる着想力と正解の無い課題で、適解を選択する能力

→拘束条件にとらわれ過ぎると、ブレークスルーができない。メカトロ技術はもともと機電製品の多様解を探し適切解を見出す技術。

・帰納的分析力、情報分析能力

→顧客の提示する要求仕様は常に自己の視点に特化している。個々の要求仕様から共通課題

を抽出し、それを製品に反映することにより、カスタム要求に標準仕様で応えられるようになる。

システム技術にしろ、マインドにしろ、概ねOJTで鍛えられる。ロボット技術者は多くのアプリケーションに接する機会が多く、技術者にとってはそれを厭わず、数多く浴びることにより自分の知的財産を高めることができる。

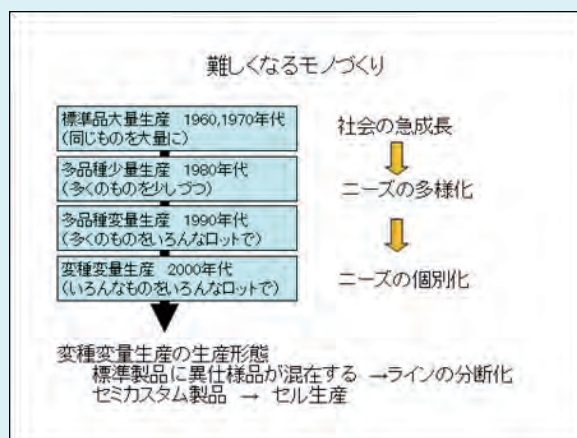
参考文献

[1]　一般社団法人日本ロボット工業会：ロボットハンドブック,2005年版.
[2]　一般社団法人日本ロボット学会：ロボット工学ハンドブック,2005年版.
[3]　Guangqiang Lu, Sadao Kawamura and Mitunori Uemura：“Proposal of an Energy Saving Control Method for SCARA Robots”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.24/No.1, pp.115-122, 2012.
[4]　米澤他：“ものづくり文化を革新する千手観音モデルによるロボット制御セル生産システム” 第9回計測自動制御学会　システムインテグレーション部門講演会 2008.
[5]　Quang-Cuong Pham他：2013国際ロボット展　産学連携国際フォーラム「プランニング・プログラミング技術の最新世界動向と産業用ロボット応用」資料,日本ロボット学会主催.
[6]　厚生労働省：平成24年労働災害発生状況.
[7]　一般社団法人日本機械工業連合会：機械工業の安全・安心のシステム構築に関する調査研究報告書（Ⅰ）－機械安全のためのセーフティインテグレータの機能及び育成に関する調査検討－,2013年3月.

～大量生産・多品種少量生産から変種変量生産へ難しくなるものづくり～

最近の工場では、生産機械が長く連なるラインでワークが順々に送られながら製品に仕上がってゆく光景は少なくなった。ライン生産であっても分断化されていたり、セルタイプの生産であったり、生産の単位が小ぶりになっている。これは、生産品の多様化と短寿命化から求められるフレキシビリティと、生産そのものが分業化され投資の最小化を狙ったコンパクトさを求める傾向が強くなった結果である。

日本の製造業は、戦後の高度経済成長期には大量生産をお家芸として急成長したが、1980年代の安定成長期にはキーワードが多品種少量に変化した。ロボット普及元年は安定成長期のさなかで、このころFA（Factory Automationあるいは Flexible Automation）、FMS（Flexible Manufacturing System）が多く語られた。多品種

少量というのは、最初から小ロットを想定した生産システムを考えればよい、ということなので、今にして思えばそんなに難しくはなかったかもしれない。バブル崩壊後は同じ製品でも、標準品もあれば特殊仕様もあるという、変量生産をいかに効率的に組むかに悩むこととなる。大ロット品用のシステムと小ロット品用のシステムを別にしてしまえば良いのであるが、もはやそんな余裕はない。大ロット品と小ロット品両方に対応できるシステムで、生産効率を確保しコストパフォーマンス良く実現することは、多品種少量生産に比べ難しく、いわば多品種変量生産である。2000年代以降は特に電子系の製品は製品そのものの変化の激しさもあり、半年もすると同じ製品ながら違った構造の製品に変わっていることも日常茶飯事となる。製造側では、ある程度将来の製品変化を見越した設備投資が必要になる。次々と設備を変える余裕などあるはずもない。いわば変種変量生産という製造業にとっては、はなはだ迷惑なものづくりとなる。フレキシビリティとコンパクトさがクローズアップされ、ラインの分断化やそのさらなる発展系のセル生産へのチャレンジが進む背景である。

フレキシブルでコンパクトなシステムでカスタム製品を生産する変種変量生産、これからの日本のお家芸にしたいものである。

小平 紀生（三菱電機株式会社）

～GDPから世界を眺めると～

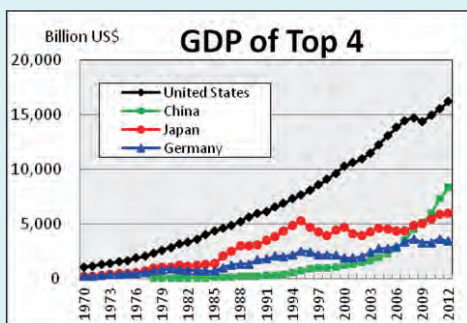
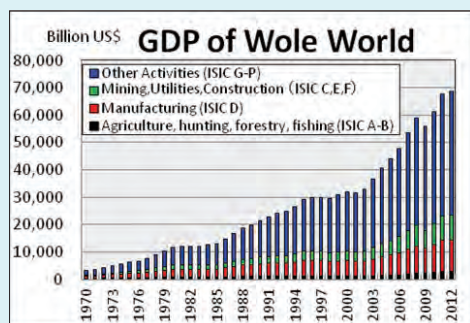
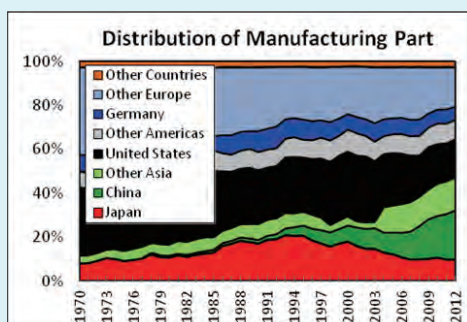
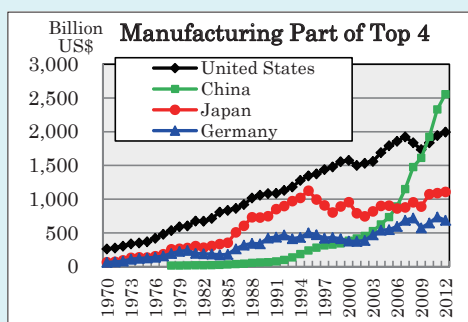
2012年の世界中のGDP総計は、およそ69兆米ドル、最近の10年間で倍増、バブル崩壊の20年前からは3倍増、オイルショックの40年前からは何と17倍増である。経済活動が活性化していることは喜ばしいものの、どこまで拡大するのか、いささか不安にも思う。GDPに占める製造業の比率は、最近10年間はおよそ17%で安定しているが、バブル崩壊の20年前は20%、オイルショックの40年前は26%と、世界全体で見ても製造業比率は下がっている。もっとも世界の製造業のGDPは世界の物量に結び付くので、世界中モノであふれさせるのも、いかがなものかとも思うので、製造業に身を置く者にとってこの傾向をどう評価するかは、いささか悩ましい。

世界の上位4か国は、米、中、日、独の順番になるが、バブル崩壊以後、失われた20年の日本や伸び悩むドイツに比べ、順調拡大のアメリカや、ドイツ、日本を一気に抜き去った中国との勢いの差は如何ともしがたい。

製造業分だけで見ても上位4か国は変わらないが、中国が2000年にドイツを、2006年に日本を、そして2010年にはアメリカを抜いて、世界一となっている。実は、すでに名実ともに「世界の工場」になっているわけである。

2012年の4か国のGDPに占める製造業の比率を比べると、アメリカ12%、中国31%、日本19%、ドイツ20%、で中国急成長は製造業が支えていることが明快である。1960年代の日本の製造業比率も30%以上で、製造業には急成長をもたらす力がある。問題は急成長したあとの製造業のあり方なのかもしれない。

製造業の地域別構成比で見ると、アジアは1970年11%、1980年16%、と拡大し1990年26%と急拡大、2012年には47%と世界の半分に迫っている。アジアは日本から中国へと主役を移しながら世界のものづくり中心となっている様がグラフで見て取れる。

第3章

世界の製造業がどちらに向かうのか、日本は世界に先駆けてその試練に直面しているのかもしれない。

＊全てのグラフはUnited Nations : National Accounts Main Aggregates Database - GDP and its breakdown at current prices in US Dollars　を元に作成。ただし、中国の2003年以前は、21世紀中国総研編、中国情報ハンドブック2013年版から筆者が推定した値を使用。

小平 紀生（三菱電機株式会社）

第3章執筆者

ワーキングメンバー本文執筆者

小平　紀生　　三菱電機株式会社 FAシステム事業本部 機器事業部
須田　大春　　株式会社SDL サスティナブルデベロップメント研究所
牧田　哲男　　株式会社古川製作所
矢内　重章　　一般社団法人日本ロボット工業会（JARA）
前川　昭一　　株式会社安川電機　ロボット事業部

コラム執筆者

3-1
須田　大春　　株式会社SDL サスティナブルデベロップメント研究所
3-2
小平　紀生　　三菱電機株式会社 FAシステム事業本部 機器事業部
3-3
小平　紀生　　三菱電機株式会社 FAシステム事業本部 機器事業部

4 生活とサービス領域のロボット化事業について

本章は生活とサービス領域のロボット化事業を取りあげる。

本章では、一般の人たちの普段の生活に密接にかかわる製品やサービスを取り上げ、その製品やサービスを提供する事業の中に「ロボット化」が取り入れられている事業を対象としている。ここでロボットとは、センサ、情報処理、駆動制御といった技術をインテグレーションした知能機械システムのことを指す。ロボット化は、これらのロボット技術を目的に応じて必要なだけ対象となるシステムに組み込むことを指すが、これは本白書が特に重視しているロボットの産業化に際しての視点となる。この視点を重視することは、ロボット産業を、ロボットを作る産業にとどまらず、市場で求められる製品やサービスならびにそれらの事業化のプロセスをロボット化することによって生まれる産業にまで拡張して捉えることを意味している。

ロボット化は、すべての製品やサービス、その事業化プロセスに組み込みうるが、そうすることによって顧客価値が高まったり、新たな顧客価値を生み出したり、事業者にとって生産性を高めることにつながる、すなわち事業性を高めることにつながらなければ意味を持たない。

本章はロボット化事業を成功に導く道しるべとなることを目的としている。そのために、このロボット化によって生み出される事業がこれまでにどのようなビジネスモデルや対象領域においてうまくいきつつあるのか、それらを支える技術が現在どのようなレベルにあるのか、これまでの事業化の試みにどのような課題があり、今後、どのような方向性がありうるのかについて注目すべき研究テーマとともに紹介する。また、新たな産業創出に際して問題となる主な法制度や規格、国の支援策に加え、主要国の動向についても取りあげる。

4.1.項では生活とサービス領域のロボット化産業の事例、法規制や国の支援策、主要国の動向、主な研究・技術について触れている。4.2.項ではこれまでの事業化の試みを通して得られた課題と方向性と注目すべき研究テーマについて取りあげる。

4.1. 主な事業分類と事例

本項では、生活とサービス領域においてロボット化事業を立ち上げ、発展させていくうえで参考になると考えられる事例を紹介する。ロボット化事業の立ち上げを検討する際には特に重要となる2つの視点から事例を分類する。その2つの視点とは、どのようなビジネスモデルをとるかという視点とターゲットとなる中心的な顧客が誰で、どのようなベネフィットを提供するのかという視点である。前者については4つのタイプで分類している。後者についてはセグメンテーションの取り方によって非常に細かな分類になることを避けるため、ここでは厳密さ

を犠牲にして用途という観点から分類を行っており、また特殊な用途や小さな市場規模の用途については取り上げていない。

両者は以下のとおりで、主な事業事例がある分類について、事例の紹介ならびにその事業分類の現状について紹介する。

（1）ビジネスモデルによる分類

以下の4つのビジネスモデルあるいはビジネスアプローチが重要である。

① 既存製品をロボット化した製品の開発・販売事業。自動車、家電、介護・福祉機器などすでに市場を形成している製品にロボット技術が組み込まれることにより、従来にない顧客価値をもつハードウェア製品の開発、製造、販売事業。すでにその製品分類の概念は市場で認知されており、対象顧客の想定や顧客の要望はある程度明確である。

② サービスプロセスのロボット化によるサービスイノベーション事業。ロボット技術を組み込むことによって、サービスプロセスをリエンジニアリングし、生産効率を劇的に高めたり、新たな顧客価値を提供したりするサービス事業を創出する事業。顧客に提供されるプロダクトはハードウェアではなくサービスとなる。

③ ロボット技術を活用したトータルソリューション事業。ロボット技術の活用により、個々の顧客の課題に対する最適なソリューションや顧客価値を最大化するプロダクトの組み合わせを提供する事業で、提供するプロダクトはハードウェア、ソフトウェア、コンテンツ、サービスといったホールプロダクトの形態となる。

④ サービスロボット開発・販売事業。従来の技術では困難であった機能を持つ既存製品にはないカテゴリのハードウェア製品の開発、製造、販売事業。

（2）用途による分類

以下の9つの用途あるいはターゲット市場に参考となる事例がある。①日常生活、②エンターテインメント／コミュニケーション、③生活福祉、④教育、⑤医療、⑥施設・オフィス（清掃、警備、会議）、⑦ホテル・外食、⑧移動（モビリティ）、⑨都市空間（広告、公共、流通、物流）。

4.1.1. 病院のロボット化

医療ロボットは大きくメディカルロボットとコメディカルロボットに分類される。

（1）メディカルロボット

メディカルロボットは、米国で先導して実用化が始まっており、手術ロボットは米国インテュイティヴ・サージカル社が開発したマスタースレイブ型内視鏡下手術用da Vinci（ダ・ヴィンチ）が有名であり、世界的な広がりを見せている。

手術ロボット以外のメディカルロボットとしては、医師の代理ロボットがある。代表例としては掃除ロボットを開発したiRobot社のRP-VITAがあげられる。

RP-VITAはiPadなどの携帯端末等を利用して遠隔コントロールされ、カメラや各種センサが実装されている。リアルタイムでの心電図やPACS（Picture Archiving and Communication Systems）と呼ばれる画像保存通信システム等とも連携している。液晶ディスプレイに医師の顔が映され、遠隔での患者との往診・診断が可能である。

iRobot社以外ではジョージア州のGecko Systems社も同様のシステム開発を行っている。

（2）コメディカルロボット

コメディカル業務の生産性向上は医療費削減、外来患者の待ち時間の短縮等によるQOL向上につながる。

病院におけるコメディカル業務は複雑であり、ロボットによる単なる人の作業のロボットへの置き換えだけでは十分な効果が見込めない。経営コンサルティングの視点が必要である。そのためには病院経営収支改善、患者のQOL向上に関するKPI（Key Performance Indicator）の設定と各々のKPIが全体に及ぼす影響と改善目標値、及び改善施策の設定が必要となる（バランススコアカードの作成）。

KPIとして想定される指標は、人生産性、設備稼働率、在庫金額、薬品廃棄等の経営ロスコスト、外来患者の待ち時間等があげられる。

バランススコアカードを作成するためには、病院内業務分析が必要となり、病院内の人・モノ・情報の流れを計測・分析する事によってなされる。

参考までに、（図4-1）に病院の経営改善のためのバランススコアカードの事例を示す。

業務分析とバランススコアカード作成により、見えてくる病院コメディカル業務全体においてボトルネックになっているプロセスや特に全体に影響を与え

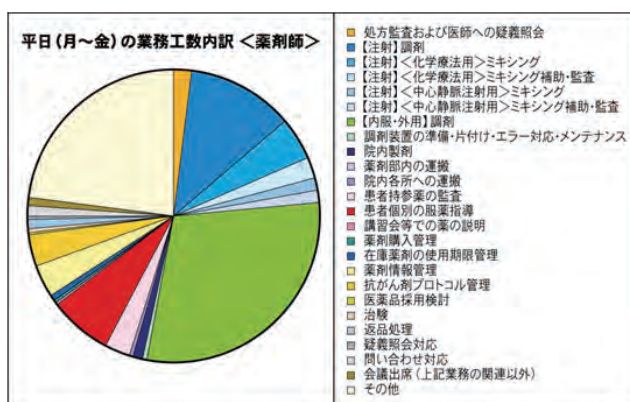
図4-1　病院の経営改善のためのバランススコアカードの事例

第4章

ているプロセスに関し、改善施策を設定する。

その改善施策としてロボットに従来作業から置き換える事により、全体的にどのような改善効果があるかシミュレーションを行い、ROI（Return Of Investment）の視点からロボット導入の是非を決定して行く。即ちロボット導入の前の経営コンサル・業務コンサルの実施が特にコメディカル分野における病院まるごとロボット化の鍵になる。

参考までに、（図4-2）に薬剤部での業務分析結果の事例を示す。

図4-2　薬剤部での業務分析の事例

前述の通り、人・モノ・情報の流れの計測・分析が必要であるが、概略を言えば、

- モノの流れの改善
  → 主にロボット技術の導入 ＋ IT技術
- 情報の流れの改善
  → 主にIT技術 ＋ ロボット技術
- 人の流れの改善
  → モノの流れ＋情報の流れ改善の相乗効果

ロボット技術にもっとも関係するモノの流れに関して考察してみる。病院の中でもっとも重要なモノの流れと言えば、まずは薬剤があげられる。

トヨタ自動車の“カンバン方式”に代表されるように工程分析による工程改善は日本のお家芸であり、製造業においてはその概念・活動は浸透している。

カンバン方式の根源にある思想は“オンデマンド”である。“オンデマンド”を実現するには小ロット搬送とプロセスの流れに応じたレイアウト変更が必要となる。

製造工場においては、ある程度同じモデルの商品が大量に流れてくるが、病院においては1,000種類以上の薬品が少量だけ頻繁に定期・不定期に搬送されるため、病院における小ロット搬送の課題は工場での搬送よりもより切実である。

小ロット搬送を全て人間が行うと大幅に工数が増えるので、人間に代わって小ロットオンデマンド搬送が可能な搬送ロボットが病院内のコメディカル業務において求められる。

搬送用ロボットとしてはライントレース式AGV（Automatic Guided Vehicle：無人搬送機）と呼ばれるロボットが従来から存在している。主に廊下に磁気センサを埋め込む方式、反射テープを貼り付ける方式などが存在し、病院内搬送用AGVとしては海外ではswisslog社が有名である。

一方、病院の場合、工場と異なり、搬送ポイントの組合せが無数にあり、レイアウト変更等があった場合に、従来のライントレース式のAGVでは対応が出来ないので、自律移動式の搬送ロボットが必要となる。

病院内の自律移動式の搬送ロボットは海外では米国Aethon社やVECNA社、国内ではパナソニックが事業展開し、村田機械が実証研究を実施している。

搬送以外で病院内のコメディアカル業務のボトルネックになっている工程に注射薬混合がある。特に抗がん剤の混合工程は、抗がん剤自体が人体に影響を与える物質であるので、人手ではなく、ロボットによる無人での混合作業が望ましい。また、注射薬は人体に直接投入されるため無菌に近い状態での混合作業が求められ、極力人の手を介さないことが望ましく、その理由からも人ではなく、ロボットによる注射薬混合が望ましい。

現在、がんは日本人の死因の第一位になっており、がんによる医療費増大が予想されるため、医療費抑制のために外来による抗がん剤による化学療法の推進が検討されているが、そのためには、ロボットによる抗がん剤の混合・調剤が必要となる。

抗がん剤の混合ロボットの開発・導入は海外勢が先行しており、代表的なロボットとしては、カナダのRIVA社やイタリア・ヘルスロボティクス社のサイトケアがあげられる。

抗がん剤投与においては投入量を精密に計測する必要があるが、当該工程をロボット化すれば、精密計測に関しても大きな進展が見込まれる。

このような病院内における薬剤（調剤業務）がクラウドと連携したロボット化が進展すれば、病院と連携した在宅医療へ発展する可能性を秘めている。

（図4-3）にパナソニックが考える薬剤の流れを中心にした病院まるごとロボットを起点とした在宅医療支援構想図を参考までに示す。

次に（図4-4）に中堅病院におけるコスト分析例の図を示す。病院スタッフ構成は看護師がもっと

図4-3　パナソニックが考える薬剤の流れを中心にした病院まるごとロボットを起点とした在宅医療支援

（出典：パナソニック
http://panasonic.co.jp/ism/robot/robot02.html）

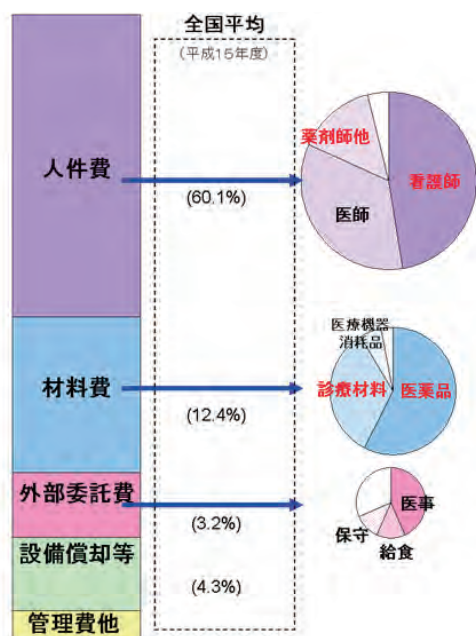
も多く、この病院では人件費構成の一位を占めている事がこの図から分かる。

大阪大学大学院　医学系研究科　保健学専攻の大野ゆう子教授らのグループは看護師のタイムスタディによる看護師業務の見える化、効率化に取り組んでいる。

一方、看護師業務は専門職であるとともに、看護師は人の命を預かっており、患者に対するホスピタリティに最も影響力のある職種であるために、単純な合理化は出来ない。

看護師はもともと不足気味であり、医学・看護学・工学連携によるロボット技術活用による看護師の負担軽減と患者に対するQOL向上の両立化が今後の課題である。

図 4-4　中堅病院におけるコスト分析例

第4章

コラム 4-1

～人をつなぐロボット技術 ー医療・介護福祉現場においてー～

最近、にわかに医療・福祉介護分野においてロボット技術が注目されるようになった。日本は産業用ロボット大国としてまさに王者として世界に君臨してきた。しかしながら、世の中も絶えず動いており、世界中でロボット技術が進歩するなか、新興諸国の台頭により産業用ロボット大国としての地位も転換期を迎えざるをえなくなったと言っても過言ではない。そこで、日本は次世代の国家成長戦略として医療・福祉介護分野へのロボット技術の応用を重視した方針を打ち出した。まさに、ロボット技術が人間と社会を支える仕組みを目指したものであり、将来を見据えた素晴らしい方策である。しかし、高齢者や障がい者の方々、さらには医療・介護福祉従事者に恩恵を与えるために、ロボット技術に何を求めればよいかについての議論はまだ発展途上と言ってもよい。まず何と

言っても現場の役に立つロボットを作り出すことが必要である。ハード面でのロボット技術だけが先行し、ロボット開発が必ずしも医療・福祉介護現場のニーズを反映していないように思われる。ロボットがこの分野で真に必要な良きパートナーとして存在するためには、ロボット技術者と医療・福祉介護現場のスタッフが十分に協議を重ね、ニーズを明確にした上で開発に取りかかるといった段取りがなくてはならない。その結果、役立つものが出来上がったとしても、それらを安全に現場で適用・活用していくための基準作りと検証が必要となる。今ようやく、その目的を達成するための入り口に立ったというのが正しい認識であろうと思う。近い将来、間違いなく医療・福祉介護分野においてロボット技術は我々人間や社会に不可欠なパートナー的存在となるだろう。これからがまさに正念場と言っても過言ではない。そのためには解決しなければならない課題がいくつかある。例えばその一つとして、現場の役に立つものが開発されたとしても、その商品化がビジネスを維持するには不可能であった場合どうするのか。高齢者や障がい者の方々の機能障がいの病態は様々で、必ずしも役立つものの開発が量産化に結びつかない場合もあり、ビジネスとして成り立つわけではない。そのようなことにも意識を向ける姿勢を我々一人ひとりが持つことが、ロボットが本当の意味で我々のパートナーとして社会に普及するために必要ではないのだろうか。

陳 隆明（社会福祉法人兵庫県社会福祉事業団　兵庫県立リハビリテーション中央病院）

コラム 4-2

～福祉用具メーカーから見るロボット～

（株）カワムラサイクルは神戸に本社を持つ車いすメーカーである。もともとは自転車メーカーであったが、阪神淡路大震災より神戸市の復興支援を受け、車いすメーカーに生まれ変わった。車いすは高齢者や障害をお持ちの方の移動支援の道具として、体の一部として使われており、常に安全安心をモットーに物づくりをしている。

車いすの中には電動カートや電動車いすのように手や体の一部を使い動かす物もある。ただ、身体機能を維持発展するにはそぐわない面もある。ある家電メーカーとのコラボでアシスト歩行器の開発を行っている中で、身体機能を維持しつつ、利用者がこの機器を使う事でより外に出る気が起き、生活範囲が広がる事の大切さを痛感した。さらに、センサを取り入れる事でより安全安心を提供できるものになると考えている。

また、日本の家電メーカーがこんなに多くの最先端技術を有しているのかを思い知らされた。これらの技術を世に普及できれば人々の生活をより豊かにできるであろう。我々福祉用具メーカーもその一助になれれば幸いと思う。

伊藤 正明（株式会社カワムラサイクル）

第4章

コラム 4-3

～【ロボット介護機器開発・導入促進事業〈開発補助事業〉（基準策定・評価事業）】の概要～

経済産業省ロボット介護機器開発･導入促進事業の平成25年度採択事業は47事業（移乗支援装着型4、移乗支援非装着型7、移動支援9、排泄支援5、見守り支援22）である。そのうち福祉用具関連事業者は11社、新たに福祉分野に参入した事業者は36社であり、超高齢社会でのロボット産業開花に期待する産業界の想いが垣間見える。移動、見守り分野での開発機器の一部は平成26年度中の福祉施設でのプロトタイプ等の持込実証も予定されている。

併行して、ロボット介護機器開発における安全基準策定・評価事業についても、研究機関等関係機関がコンソーシアム体制にて、順次作業が進められている。

【開発事業参入企業の傾向】

開発補助事業において各分野に参入している企業に共通して見られる課題は、開発しようとする機器の開発コンセプトを如何に明確化するかに集約されている。不確かさの多くは、事業者が福祉分野で使われている用語（例えば「自立する」、「移乗する」等）の意味するところの認識・理解不足やずれからきているように思える。使われる場面を想定する場合、その機器を使うことにより、どのような変化を及ぼすか。その変化の状態を意味する用語などがこれにあたる。その変化が利用者または利用者の周辺の状況を変容させることにより、生活の質の向上に寄与するものでなければならない。

生活支援機器の開発は、『「シーズ」ありきでなく、「ニーズ」ありきといわれる』所以である視点を再度見直す必要もありかといえる。

図表　平成25年度　経済産業省ロボット介護機器開発・導入促進事業（開発補助事業）

ロボット介護機器開発・導入促進事業の実施期間は、平成２５年度から平成２９年度とする。ただし、開発補助事業の期間は３年以内とし、重点分野毎の開始・終了年度は以下とする。なお、各年度末のステージゲート審査会の審査・評価の結果は、平成２６年度に開発補助事業を継続する場合において、考慮される。

重点分野	開始年度	終了年度
移乗介助：ロボット技術を用いて介助者のパワーアシストを行う装着型の機器	平成２５年度	平成２７年度
移乗介助：ロボット技術を用いて介助者による抱え上げ動作のパワーアシストを行う非装着型の機器	平成２５年度	平成２７年度
移動支援：高齢者等の外出をサポートし、荷物等を安全に運搬できるロボット技術を用いた歩行支援機器	平成２５年度	平成２６年度
排泄支援：排泄物の処理にロボット技術を用いた設置位置の調整可能なトイレ	平成２５年度	平成２７年度
認知症の方の見守り：介護施設において使用する、センサーや外部通信機能を備えたロボット技術を用いた機器のプラットフォーム	平成２５年度	平成２６年度

基準策定・評価事業は平成２５年度から５年間実施するが、各重点分野の開発補助事業終了時に、その分野における事業内容を完了させる。

（出典：経済産業省）

図表　ロボット介護機器開発・導入促進事業実施体制　（基準策定評価・開発）

（出典：経済産業省）

伊藤 健三（株式会社ニチイ学館）

4.1.2. 家庭におけるロボット化

(1) 掃除ロボット「ルンバ」

現在、家庭の中で普及しているロボットと言えば、掃除ロボットが思い浮かぶ。掃除ロボット「ルンバ」を開発した米iRobot社は、1990年にMITの人工知能の研究者（ロドニー・ブルックス、ヘレン・グレイナー、コリン・アングル）によって設立されたロボット専業メーカであり、NASA、DARPA等の国家プロジェクトで探査ロボット（Genghis 1991年）や多目的作業ロボット（Urbie 1997年）などを開発し、2002年に家庭用自動掃除機「Roomba」を発売した。日本では、2004年にセールス・オンデマンド社が発売を開始したが、直ぐには普及せず、10年後の2012年ごろに本格的に市場が立ち上がった。米国では、このようにベンチャー企業が、国家プロジェクトで開発した技術の民間展開を長期に渡って継続できる環境にあることが、日本との大きな違いと思われる。

米iRobot社は世界40カ国以上で掃除ロボット「Roomba」（図4-5）を展開している。日本では、「Roomba」が2013年にロボット掃除機としては初めて100万台を突破した。

米iRobot社は、「ロボット研究における、新しい創造の可能性を開拓すること」を目的にロボット開発応援プロジェクトを実施している。このプロジェクトでは、「Roomba」をプラットフォームとして使用し、参加した研究者は本来の研究課題に集中できるようにしている。ソフトウェアの開発環境はROS（Robot Operating System）を推奨しており、有益な情報や意見交換のためのコミュニティサイトを使って、世界的に研究成果を共有することができる体制を整えている。

図4-5　Roomba 780

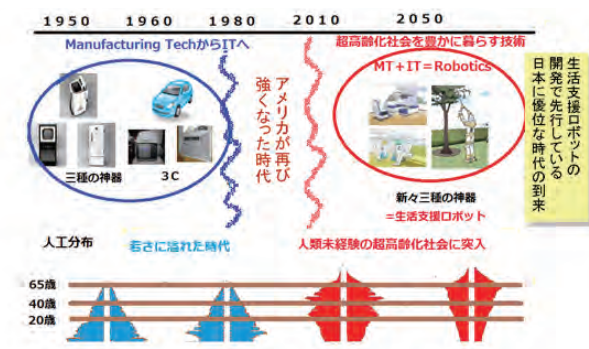
（出典：米iRobot社
http://www.irobot-jp.com/product/index.html）

(2) スマートハウス

（図4-6）に示す通り、高度成長期である1950年代において、日本の家電市場はテレビ、冷蔵庫、洗濯機は三種の神器と呼ばれ、庶民の憧れの的であった。

三種の神器は、生活を便利にするための必需品であったが、さらに1960年代になると人々の生活に余裕が出来始めカラーTV、車、エアコンのいわゆる3Cが市場を賑わせることになり、家電業界、自動車業界は急成長を遂げる。

この急成長の背景には高度成長期においては人口構成が綺麗なピラミッド状になっており、特に若者の人口が急増し、都市化進展に伴う核家族化もともない、家電製品、自動車製品の需要が急速に高まった事もあげられる。

図4-6　三種の神器から3Cそして新々三種の神器へ

やがて成熟期を迎え家電市場は一旦飽和したが、マイコン搭載による家電製品の付加価値向上による製品単価UPにより、市場が再び嵩上げされた。

しかし、超高齢社会を迎えるにあたり日本市場そのものが成熟し、メガコンペティションの進行により、海外家電市場においても日本勢は苦戦を強いられることになっている。

また、家電製品はコモディティ化が激しく、高付加価値ビジネスへの転地をめざし、各社がB2CビジネスからB2Bビジネスへの転換にトライし始めたという要因もある。

そこで新たな動きとして次のようにロボット技術の応用、ネットワーク家電の試み、及びスマートハウスの出現と言った現象が生じた。

①　ロボット技術を家電製品に実装し、家電製品の付加価値と単価をUP
②　ネットワークによる家電製品連携による顧客価値の向上（ネットワーク家電）
③　さらに建物と家電製品との連携による省エネ実現（スマートハウス）

①に関しては、日本にもお掃除ロボットエアコンのようにロボット技術を活用した家電製品の顧客付加価値向上の発想はある事はあったが、安全に対する過剰な反応から、掃除ロボットもＲ＆Ｄベースでは開発が進められてきたが、商品化はなかなか出来なかった。
そのような日本勢の動きの間隙を縫って登場してきたのが、iRobot社によるお掃除ロボットルンバであった。

②に関しては、ネットワークによる家電製品連携に関する提案・構想は過去から、多くあったが、なかなか実現されなかった。

その最大の理由は、家電製品をネットワークで連携するためには、ホームサーバーが必要とされたことであると考える。

パーソナルコンピューターが一般家庭に普及し始めていたので、パーソナルコンピューターをホームサーバーとして活用する案等もあったが、一般家庭にホームサーバーを普及させるためには、やはりユーザビリティが重要であり、パーソナルコンピューターはユーザビリティの点で課題が大であった。

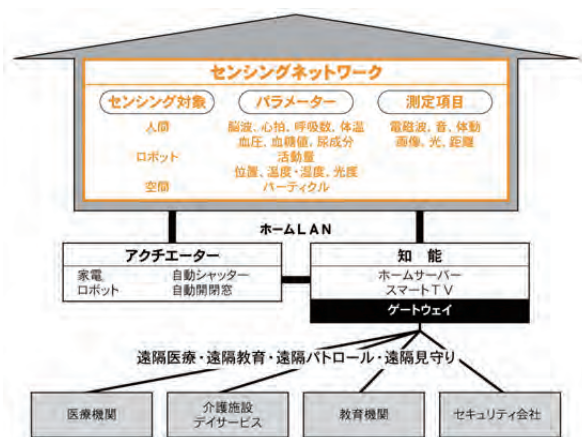
ホームサーバーだけではなく、ネットワークに接続するためには、連携される家電製品側もネットワーク対応する必要があり（ネットレディ家電）その事が家電製品のコストアップ要因となるので、ネットワーク家電普及の障害になってきた。

しかし最近になって環境変化があった。それはスマートフォンの普及である、家電製品がスマートフォンを介して、クラウド上に繋がる事により、ホームサーバーは不要となるとともに、クラウドで、センター処理を行う事により、家電連携によって提供可能な家電メーカのみならず、第三者によるサービスの幅が大幅に広がるとともに、サービスコストの大幅な低下が期待できる。

宣伝広告等のビジネスモデルと連携させれば、これらのサービスはフリー化を目指した動きになるものと思われ、これらのサービスに対しユーザの支持が多く集まれば、ネットワーク家電の普及は加速するものと思われる

③スマートハウスに関しては、参入企業が相次いだが、エネルギー節約だけでは高価なスマートハウスはなかなか売れないために、スマートハウスにおいてエネルギーマネジメント以外のロボット技術も活用した新たな付加価値の創出が求められる。

（図4-7）にスマートハウスにおいてエネルギーマネジメント以外のロボット技術も活用した新たな付加価値の創出アイデア事例を示す。

図4-7　スマートハウスにおいてエネルギーマネジメント以外のロボット技術も活用した新たな付加価値の創出アイデア事例

教育やセキュリティに加え、特にヘルスケアや介護見守り機能のスマートハウスへの機能追加が注目されている。

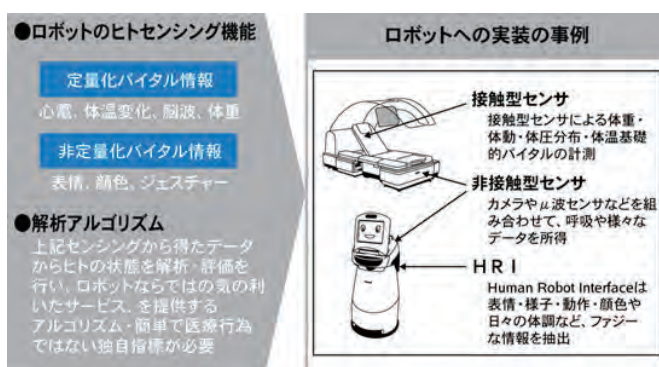
ヘルスケア分野が注目されている理由にリーマンショックがある。リーマンショックにおいても医療、農業等の人の生存に関わるソーシャルビジネスはあまり影響を受けず、世界的な高齢化の進展と人口増により、今後とも継続的な成長が見込まれる事も注目されている要因としてあげられる。

また、スマートハウスがこれらの新たな機能を追加するためには、病院や介護施設、教育機関、セキュリティ会社といった外部機関が、当該ビジネスに参入し、スマートハウス提供会社と連携する事が必要となる。

新たな付加価値として特に期待されているのがヘルスケアであるが、ヘルスケア機能を実装するには、バイタルセンシング技術が重要となる。

バイタルセンシングは生活支援ロボットに実装すれば、ユーザへの利便性は高まる。

（図4-8）に生活支援ロボットへのバイタルセンシングの実装の事例を示す。医療費・介護費の増大による財政危機も在宅医療・介護を後押ししている。

図4-8　生活支援ロボットへのバイタルセンシングの実装の事例

このような生活支援ロボットにバイタルセンシングを実装することに加えて、高齢者の身体能力障害に対する機能サポート、感覚障害に対する機能サポート、記憶・言語障害に対する機能サポートが低コストで実現し、将来は生活支援ロボットを新々三種の神器として、将来の主要産業化されることが期待される。

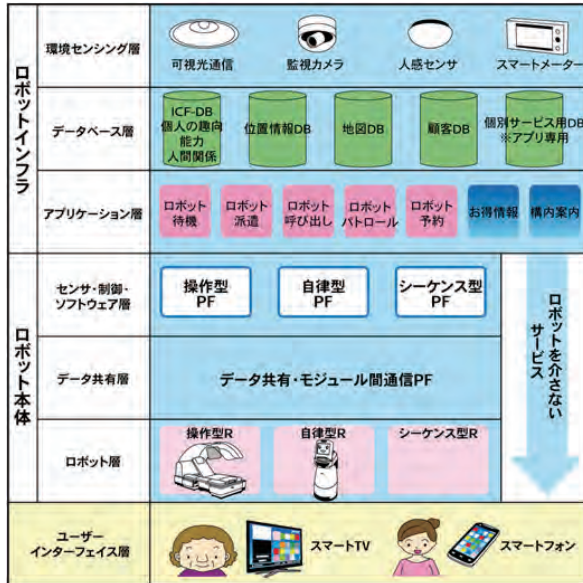
(3)　ロボット参照モデルの提言

なお、生活支援ロボットに関しては、ロボット単独ではなくシステムの中で、他の機器やサービスと連携しないと、ロボットによるユーザ価値が発揮出来ないことは認識されつつある事象であるが、そのためには通信業界におけるOSI参照モデルと同様に、ロボット技術の参照モデルを設定し、ロボット技術の参照モデルにより、各層別に、標準化を推進して行く必要があるものと思われる。（図4-9）にロボット参照モデルの提案事例を示す。

生活支援ロボットは生活や家庭に密着している製品・サービスであり、（図4-9）に示すとおり、環境センシング層や、ユーザインタフェース層には、既存のネットワーク化対応された家電製品が組み込まれれば、経済性からも生活支援ロボットが普及するトリガーとなることであろう。

図4-9　ロボット参照モデルの提案事例

	層	構成要素
ロボットインフラ	環境センシング層	可視光通信 / 監視カメラ / 人感センサ / スマートメーター
ロボットインフラ	データベース層	ICF-DB 個人の趣向 能力 人間関係 / 位置情報DB / 地図DB / 顧客DB / 個別サービス用DB ※アプリ専用
ロボットインフラ	アプリケーション層	ロボット待機 / ロボット派遣 / ロボット呼び出し / ロボットパトロール / ロボット予約 / お得情報 / 構内案内
ロボット本体	センサ・制御・ソフトウェア層	操作型PF / 自律型PF / シーケンス型PF
ロボット本体	データ共有層	データ共有・モジュール間通信PF
ロボット本体	ロボット層	操作型R / 自律型R / シーケンス型R
	ユーザーインターフェイス層	スマートTV / スマートフォン

ロボットを介さないサービス

4.1.3.　オフィスのロボット化

オフィスの生産性を向上させるため、オフィスのロボット化が進められている。オフィス用途の例として、テレプレゼンスロボットがある。テレプレゼンスロボットとは、離れた場所にいる人が、インターネット経由でロボットを操作し、高品質な音声や高解像度の映像により、遠隔地でもその場で対面やコミュニケーションをしているかのような臨場感を提供するシステムで、「代理ロボ」や「PC on Wheels」とも言われている。例えば、ビジネスでは、遠隔地における会議、現地視察、工場の監視等に利用することが考えられている。医療・福祉分野では、医師が遠隔地にいても患者の様子を診断したり、病院内を動きまわったりすることができる。また、高齢者などコミュニケーションの不足による社会的孤立が課題としてあげられており、その対策として、テレプレゼンスロボットによるコミュニケーションが試みられている。

（1）テレプレゼンスロボットの研究開発

米iRobot社では、医療向けにテレプレゼンスロボットを開発・販売する米南カリフォルニアのベンチャーIn Touch Health社と提携し、医療現場を対象とした、移動型テレプレゼンスロボット「RP-VITA」を開発した。「RP-VITA」は、移動型テレプレゼンスロボットとして初めて米国食品医薬品局（FDA）の認証を取得（2013年1月）した。FDAのミッションは、「①医薬品・医療機器・化粧品等の安全性・有効性を確保することで米国民の健康福祉を保護する、②医薬品・食品の有効性・安全性等を高めるイノベーションの促進の援助、並びに、健康増進

のために医薬品・食品を利用する際に米国民が科学的根拠に基づいた正確な情報を入手することを援助することによって米国民の健康福祉を増進させる」ことであり、医療機器を米国に輸出するときはFDAの認証が必要である。FDA認証製品となったことで、製品の安全性・適格性が確保され、輸出入の際の課題を一つクリアしたといえる。さらに、米iRobot社では、企業向けのテレプレゼンスロボット「Ava 500」を2014年から販売を始めた。

（2）テレプレゼンスロボットがもたらす未来社会

テレプレゼンスロボットとクラウドを融合することで、テレプレゼンスロボットを安く、賢く、軽くすることができるとともに操作する人の判断や知見を組み合わせ、オフィス、家庭、地域社会の見守り、病院・福祉施設・トレーニング施設等と連携し、健康管理、個人データ（健康管理情報等）と連動したショッピング、旅行の疑似体験、人と物のスマートな移動を実現する交通や物流の自律的なITS化など、ネットワークコミュニケーションによる仮想空間（テレプレゼンスロボット）と実空間（人）が一体となった社会を形成する可能性がある。

～オフィスビル清掃システム事業について～

ビル清掃システム（以下「本システム」）は大規模オフィスビルのエレベーターホールや廊下等（以下「共用部分」）の清掃を自律走行ロボットにより自動化しており、2001年の実用化から13年を経過した現在まで、重大な事故や故障なく、安定運用されている非常に信頼性の高いシステムである。この自律走行ロボット（以下「清掃ロボット」）は走行制御系と塵芥吸引系のシステムから構成されており、これらのシステムは赤外線通信、ジャイロ制御や紙パック方式の塵芥吸引等の汎用性と信頼性が高い既往技術で構成されており、ロボットの長期安定稼働を実現している。

清掃ロボットの実用化に向けては、労働集約的な清掃業界に通用する事業性の確保が必須であり、状況整理と課題抽出にはビルメンテナンス会社（サービスプロバイダー）の助言が貢献した。事業性のポイントとして安全性、コスト及び操作性が抽出されたが、清掃ロボットを夜間運転とすること、コストパフォーマンスに見合わない技術の採用を見送ったこと、不足部分を人がバックアップすることで多くの課題を解決できた。

現在、ビル清掃システム事業（以下「本事業」）は適用領域が大規模オフィスビルの共用部分の夜間に限定されており、今後、本事業拡大には本システムの汎用性の向上が重要である。具体的には技術革新を通じた安全性と操作性の向上によるロボットの運用時間帯とオフィス専用部分を含めた場所の拡大、リース等の活用による利用課金型の料金体系の開発が必要と認識している。特に、画像認識に関する技術革新は、1.ロボットに走行経路を入力する専門作業員を不要にし、2.ロボットの自律走行に必要なビル側の環境整備の負担軽減、3.人や障害物への衝突回避性能の向上を可能にするものとして期待が大きい。

今後、事業化されるロボットシステムには事業支援型と価値創造型があると想定でき、前者は既往事業の品質向上とコストセーブを目指し、後者はロボットシステムだけに実現可能な新たな事業領域の開拓を目指すものである。ビル清掃システム事業は前者であり、労働集約型産業においてロボットシステムを事業化したケースである。事業に精通したサービスプロバイダーとメーカの協力体制が不可欠であると同時に、労働集約型産業の業界は一般に保守的な傾向もあり、安全基準の整備等を通じてロボット運用者に対する責任範囲の明確化によりロボット化という新しいシステム導入に対する経営者の抵抗感を払底することが重要になる。

最後に、あるメーカ技術者の言葉を引用して締めくくりたい。「基礎技術と事業化の間に広がる千尋の谷を越えることが容易でないのはロボットシステムに限ったことではなく、多くの挑戦から僅かな成功しか生まれない。」こうした挑戦または再挑戦を特に経済的に支援する制度整備を国に望むところである。

櫻内 昌雄（住友商事株式会社　ビル事業部）

4.1.4.　移動のロボット化

（1）セグウェイ

A）はじめに

米国の発明家ディーン・カーメンによって発明され、2001年の発表では「世紀の発明」とも言われたコードネーム「ジンジャー」は、米国の法人であるセグウェイ社の設立とともに、「セグウェイ」（図4-10）と言う商品として市場に投入される。2013年12月現在で全世界におよそ10万台が存在し、北米と欧州を中心に利用シーンを増やしている。

図4-10　セグウェイ

B）海外の状況

欧米を中心にセグウェイの公道での走行を認める国が増えてきている。米国では、9割以上の州で歩道での走行を認めており、欧州では英国を除くほぼ主要な国で歩道及び自転車道での走行を認めている。

米国の例では、州毎にEPAMD（Electric Personal Assistive Mobility Device）なる新たなカテゴリを設けている。

主な使用用途は「警備」や「ガイドツアー」である。市街地のパトロールにセグウェイを利用する評価実験以降、周囲からの視認性とコミュニケーション量が増加したことから来る犯罪抑止力への評価と警察官のモチベーション維持に大きく貢献したと言われており、各地の警察で導入が進んでいる。ツアー分野では、全世界で800カ所以上のツアー運営箇所が存在し、この数年で成長の著しい分野である。

～スマートモビリティとITS～

高齢社会に対応した便利な移動手段や、低炭素社会に不可欠な効率的な移動手段などとして、様々なモビリティ技術が開発されており、IT等を活用した事故回避や緊急時対応、バリアフリー化などの交通弱者への便利で快適な移動など、安全・安心でスマートな交通社会の実現が、現代社会において取組むべき重要な課題となっている 。このような状況下、個々の移動手段としてだけでなく、都市設計やまちづくり等においても、様々なスマートモビリティ技術は、交通インフラの高度化を目指すITS技術（Intelligent Transport Systems：高度道路交通システム）とも相俟って、その期待が高まっている。政府においても、「科学技術イノベーション総合戦略」（平成25年6月閣議決定）や、「日本再興戦略-JAPAN is BACK-」（平成25年6月閣議決定）に加えて、各種の検討会、勉強会等が開催されており、政策的方向性を打ち出すとともに、各種の国家プロジェクトが実施され、産業競争力懇談会等における提言や産業界でも様々な技術開発等が行われている [1]。

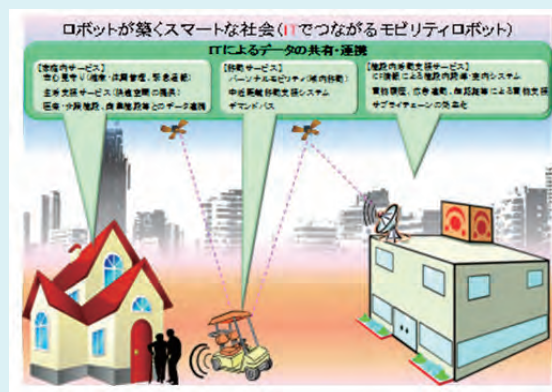
このような社会的背景を踏まえ、よりパーソナルなモビリティとしてSegwayやWingletに代表される一人乗りのモビリティロボットが注目されている。これらの移動手段は、歩行者と自動車やバイクなどの従来の移動体との間を補完する移動機器であり、すでにSegwayは各国で販売され、警備や観光地の移動ツールとして利用されている。さらに小型自動運転EVとしてトヨタSmart INSECTやシボレーEN-V等も精力的に開発されている。

一人乗りのモビリティロボットは、Segwayの他に日本では自動車メーカを中心に開発がなされており、代表的なものとしてトヨタ自動車のWingletやi-REAL、ホンダのU3-XやUNI-CUBなどがある。中国でもモビリティロボットが盛んに開発されており、一部はすでに空港警備に導入されている 。

これらのパーソナルモビリティロボットの特徴として、倒立二輪型のように一段高い場所から「周囲を見渡して走る」ことによる快適で素早い移動を提供するもの（Segway、Winglet等）、ハンズフリーの（両手が空いている）状態で「腰掛けて走る」もの、まるで身につけるかのように「着て走る」もの（i-REAL、i-SWING、i-UNIT等）がある。そしてこれらの共通的、かつ最大の特徴は、周囲の情報通信環境とも連携し、日常的な移動から、観光やショッピング、安全管理や見守り、福祉利用等に至るまで様々なサービスの提供手段にもなりうることである。いわば、これまでの自動車が「化石燃料」で走り、電気自動車が「電気」で走るのと比較すると、モビリティロボットは「情

報」で走ると言っても過言ではない。さらに、各地域でシェアリングシステムを構築することによって、ショッピングや観光、見守りシステムなどと連携した地域内移動や都市設計など、「地域や社会のスマート化」を実現可能なことも大きな特徴である。

今後のスマートモビリティは、その製造・販売だけではなく、ITSの一翼を担うことによって、周囲の環境と連携した事故の予防・回避、緊急時対応などの安全・安心に貢献したり、渋滞回避や隊列走行によって省エネに貢献したり、様々な情報やビッグデータを使ってスマートな移動や物流サービスを提供したりする「ものごとづくり」ビジネスが可能になると考えられる。また、世界的な都市化の動きとともにスマートな移動や物流システムを組み込んだ総合的でグローバルな都市空間のプロデューサーが、交通・物流、不動産、情報通信、エネルギー、医療、防災等の様々な業種を超えた総合サービスの提供業者となり、ビジネスの中心となることも考えられる。スマートモビリティ自身もよりパーソナル化されれば、「着るスマホ」「ウェアラブルな乗り物」に進化するかもしれない。

特にロボット技術に代表される自動化技術は、究極の安全技術として、交通事故を大幅に削減したり、交通弱者の社会活動への参加を促したり、都市集中と地域格差を解消したりすることなどが期待され、交通社会、交通ビジネス、まちづくりや都市空間設計などを根底から変革する可能性もある。スマートモビリティとITSは、来るべき未来社会において、事故の無い安全・安心社会で知能化された社会の構築に大きく貢献すると考えられる。

参考文献

[1]　例えば、国土交通省で「オートパイロットシステムに関する検討会」が開催されている。NEDOでは「エネルギーITS推進プロジェクト」「IT融合プロジェクト」等が実施され、26年度から経済産業省で「次世代高度運転支援システム研究開発・実証プロジェクト」が開始されている。

真野 敦史（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）

C）我が国の状況

2006年頃から本格的な展開が行われ、法人のみを対象に警備やツアー、ゴルフ場での利用が主要な市場となっている。保険の加入義務化、独自の講習制度を設ける等、安全に配慮した日本独自のビジネスモデルをとっている。2010年1月内閣府がつくば市の特区提案を認定、その後2011年3月に「搭乗型移動支援ロボット公道実証実験特区（ロボット特区）」の実際の特区を認定、初めての市街地での「通勤」「パトロール」「ツアー」等の実験が行われている（図4-11）。

同実験を通して得られた情報を他の自治体ともシェアすることを目的として協議会を設置し、全国への展開を推進している。

図4-11　セグウェイによるガイドツアー

～サービスロボットの導入による先進的な警備サービス事業について～

セコムはわが国初の警備会社として半世紀以上警備サービスを展開してきた。セコムが重要視するのは、お客様が心底安心して仕事や生活ができるサービスの提供であり、その実現にはお客様を徹底的に理解・共感することと、お客様に常に最高の品質で応えるプロであることが必要となる。そのためセコムは、お客様の仕事の特徴や犯罪者の手口、サービス提供のプロセスを分解・分析して考え、サービス品質の向上に寄与する最先端技術を研究・開発し、導入し続けてきた。

例えばセコムのオンラインセキュリティシステムは、従来の人手による警備サービスを分析することで、異常監視や情報伝達・管理といったプロセスを機械に置き換え、判断力や機動力、処置力といった人間でなければできないことに人間が注力できるよう開発された。これによりサービス提供に関わる人間が10倍、100倍の力を発揮できるようになり、より多くのお客様にとって適切な価格での安全の提供を実現した。

先般、民間防犯用としては世界初となる自律型の小型飛行監視ロボット（**図表1**）を報道発表し、社会の関心を集めた。この小型飛行監視ロボットは、警備のプロセスで特に重要となる初動を徹底解析し、自動化したサービスロボットである。初動では犯人や車両等の情報をどれだけ多く集められるかが鍵となる。そのため、敷地内への不審な人や車の侵入時には、適切な位置・方向からその特徴を含む証拠性の高い画像を撮影し（**図表2**）、さらに追跡により逃走した方向も捉える機能を備えている。実現にあたり、セコムが遠隔での画像監視や屋外の侵入監視などで培ってきた画像処理技術やセンシング技術、人物や車両の追跡技術などが応用されている。

図表１　小型飛行監視ロボット

図表２　ロボットによる証拠性の高い画像の撮影

工業の分野では、エンジニアが製造プロセスを詳細に観察し解析をすることで、工業用ロボットの導入が進んできた。対して、サービスの分野についてはプロセスの分析が未だ十分になされておらず、ロボット化などの先進的な技術導入が進んでいないのが現状と考える。工業分野と同様に、サービスのプロセスについても日本のエンジニアが注視すれば、より良いサービスロボットを作りあげるポテンシャルは十分に高い。日本全体が知恵を出し合い、世界に受け入れられるサービスロボットを実現していくことが、日本にとっても望ましい状態である。セコムもサービスを生業としお客様に接する会社として、引き続きサービスロボットの導入を推進していく。

小松崎 常夫（セコム株式会社 IS研究所）

第4章

（2）自動車のロボット化

アメリカでは、グーグルがDARPA主催のグランドチャレンジ（2004、2005年）、アーバンチャレンジ（2007年）に参加したスタンフォード大学の研究者を集め研究を開始した。2012年3月にネバダ州から公道で試運転できる免許の交付を受け、同年8月時点ですでに走行距離が累計で30万マイル（約48万キロ）を突破したと発表している。2013年1月には米運輸省から法制度のプロを迎え、2017年度の実現目標を発表している。本来自動車会社ではないグーグルの参入によって、にわかに自動運転技術が社会的注目を集めるようになり、日本でも2013年10月14日から開催されたITS世界会議の一つの目玉として自動運転技術のデモ公開が行われた。自動車メーカ、及び自動車技術会と日本ロボット学会の合同で設立されたカーロボティクス調査研究委員会委員として金沢大学、株式会社ゼットエムピーなどがデモ走行を公開した。

自動運転の実用化に関して、日米欧ほぼすべての主要自動車及び関連メーカが様々な発表を行っており、今まさに競争が始まった、といえる。

図4-12　ZMPの自動運転研究用車両「RoboCar® PHV」

コラム 4-7

～カーロボティクス～

ZMPは、2001年の創業以来、二足歩行ロボットPINO、nuvoの開発、また家庭内で自律移動をする音楽ロボットmiuroを開発、販売をしており、その技術を用いて屋内で自動運転の研究ができる実車の1/10スケールのカーロボティクスプラットフォームRoboCar1/10を2007年より開発をはじめ2009年から販売を始めている。その後、人が乗れ実験ができる車両を開発するために市販されているトヨタ車体製の一人乗りEVコムスをベース車両として、走る、曲がる、止まるを制御できるRoboCar MV

を2011年に発売した。さらに、一般の自動車で汎用的な実験ができるようにトヨタ製のプリウスをベース車両にRoboCar HVを2012年に、RoboCar PHV（図4-12）を2013年から発売した。以上のRoboCar®シリーズは、自動車及び部品メーカ、大学等研究機関向けに研究用車両プラットフォームとして販売している。

図表　AUTONOMOS LABSの自動運転車両「Made In Germany」

乗用車をロボット化し、汎用的なプラットフォームにする際には、いくつかの課題がある。まず自動車技術の習得がカギとなる。自動車を分解し、車載ネットワークの情報解析ツールを開発し、全体をシステムで理解することを目指した。自動車をロボットに置き換えると、①カメラやレーダなどのセンサで前方のクルマや二輪車、歩行者、白線や標識を認識する機能、②それらの情報を元にコンピュータで判断する機能、③その判断に基づきエンジンやモータ、ステアリング、ブレーキのアクチュエータを操作する機能がある。③については最近のクルマにはすでに備わっており、ZMPでは①と②の研究にフォーカスしている。特に②に関しては、自己位置推定と地図生成を得意としたSLAM（Simultaneous Localization and Mapping）技術を有するアメリカのバージニア工科大学及びSLAMを提唱したシドニー工科大学と共同研究をしている。また、実車を使った一般道やアウトバーンでの公道実験の実績を有するドイツのベルリン自由大学発ベンチャー企業Autonomos GmbHと協業している。

谷口 恒（株式会社ゼットエムピー）

～モノのネットワーク化とスマートシティ～

近年、私たちの身の回りの製品（音楽プレーヤー、携帯電話、情報端末、家電、自動車など）は、すでに「IT」や「デジタル情報」によって連携している。このIT化の波は、スマートフォンに代表されるように音楽プレーヤー、携帯電話、電子メールやデータ通信、デジタルカメラやビデオデッキ、ブックリーダー、ナビゲーション、ゲーム機、辞書、健康管理機器等の融合をもたらし、今や自動車もIT化が進むことで、あたかも「走る情報端末」のような存在になりつつある。さらに、身の回りの各種商品とそれを使ったサービスがIT化され、デジタル情報で連携していることを考えれば、生活空間や住宅、社会インフラを含めた地域、ひいては、私達の社会全体にIT化の波が訪れることも想像に難くない。

この様に、多種多様なモノのネットワーク化（IOT：Internet of Things）がなされた世界で可能になることはなんであろうか。それは、「IT化」によって、これまでは得られにくかった「需要家（ユーザ）」の実態を示す各種の「利用・消費過程のデータ」（生活情報、位置・移動情報、健康医療情報、販売情報、エネルギー消費量等）であり、これをいかに活用し、それらに価値を見出すかが問われることになる。そして、既存の製品や産業にそのデータが活用されることにより、それらが賢く（スマート）になるだけなく、ITが「産業の糊」の役割を果たして産業融合を起こして、スマートなサービスを提供する新産業を創出したり、ビジネス競争、社会課題の解決、安全・安心でレジリエントな国の制度設計やインフラの構築等に活かしたりと、膨大でより実際的なデータに基づき、将来を予測しながらよりスマートな社会（スマートシティ）を構築することができるようにもなるとも考えられる。

この様な状況下、我が国では経済産業省から「IT融合」という概念が打ち出された。また、海外においても、Cyber-physical Systems（米 National Science Foundation）やSmarter Planet（IBM）、欧州の「ARTEMIS」（Advanced Research & Technology for Embedded Intelligence Systems）といった取組も進められている。

一方、「センサ等による様々な情報の入手、知能による判断・制御、人々へのアクチュエート（サービス提供としての働きかけ）」の機能を有する統合機械システムを「ロボット技術」と定義した場合、今後、様々な産業やそれを支える技術も、ITとロボット技術（RT）を使ってサービス提供を行う「ロボット化」によって「スマートサービス」「知能サービス」に進化し、社会・産業インフラや各種の施設、家電や情報端末、交通等は

業種を超えてサービスで連携する時代が来るかもしれない。例えば、今後の自動車ビジネスにおいては、自動車の製造、販売、点検・修理の単品ビジネスを超えて、運転を制御するソフトウェア、移動や物流に役立つ様々な情報やサービス提供システム、そのためのビッグデータのマイニング等を使った統合的でスマートな移動や物流サービスを提供するビジネスが可能となるであろう。さらにこのようなスマートなシステムを組み込んだ「知能化社会」となった都市空間の設計・運営や住環境システム等の総合的なプロデューサーが業種を超えたグローバルなサービス提供業者となってビジネスの中心となることも考えられる。しかし、我々人類に対して如何に有益な形で裨益させるかとの視点がなければ意味が無く、人類が有効に活用するべき膨大なデータに人類が逆に支配され、データの海に溺れた社会にもなりかねないことにも留意が必要である。

モノのネットワーク化とロボット技術（RT）を駆使することによって、莫大な生活・社会活動の情報から有用情報を取り出し、各種の社会・産業インフラから生活空間まで、業界横断的な連携を図りつつスマートなサービスを提供する者が「ロボットが築くスマートな社会」を構築するメインプレーヤーになり得ると考えられる。

真野 敦史（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）

4.1.5.　教育におけるロボット化

（1）ロボット研究教材・教育教材

教育分野におけるロボット技術の応用という点において、近年でもっとも影響が大きかったものが、中学校の指導要領に平成23年から盛り込まれた「計測と制御」の単元であるといえる。ヴイストン株式会社[1]では、赤外線センサを搭載し専用ソフトウェアによるプログラミングが容易に実習できる「ビュート レーサー」や、高性能なマイコンボードを搭載し使いやすさと拡張性とを高い次元で両立した「ビュート ローバー」など、低価格でありながら幅広い需要に応える教材ロボット「ビュート」シリーズを開発している。

ロボット技術を応用した教材の実用途という観点において、「計測と制御」の授業にてこれらの教材が広く活用されている事実から、これまで多く見られた「高等教育におけるロボット教材」とは異なる性質を見いだすことができる。すなわち、ロボットもしくはそれに付随する技術そのものに関する教育を目的とするのではなく、ロボットという要素を学習の動機として用い、技術課程一般や数学、論理思考力を鍛えるといった教育効果を目的とするという相違である。ロボットと名の付く教材を用いることで、学習に対するモチベーションを維持できる。プログラムの変更が直ちに実物の動作に反映されるという性質を用いることで、変数の概念を実体として認知することが容易となる。再現性の高い環境下において様々に条件を変えたアルゴリズムを試行することで、最適と思われるプログラムにたどり着くまでの忍耐力を養うことができる。そういった、これまでのロボット技術教材では想定していなかった副次的な教育効果が、多くの教育現場において得られ始めているという感触がある。

このことは、今後のロボット教材が向かうべき可能性の一つを示しているといえる。ロボット技術を適切に応用した教材を使うことで、技術や知識といった側面以外にも、感情や心理といった、より人間存在の本質に近づいた学習体験の促進が期待できるからである。心理面、感情面での学習促進という点では、ヒトに近い存在感を持つヒューマノイドタイプのロボットを応用することが想像されがちであるが、身近なものに感情を移入するという人間の心理特性を考慮すると、共感性の高い外見と動作さえ実現していれば、必ずしもヒト型である必要はないとも考えられる。

いずれにしても、このような性質のロボット教材を実現するためには、幅広い年齢層（心理的効果が高くなるほど、対象者が幼少期から高齢者までの広範囲にわたると想定される）に対

[1] ヴイストン株式会社は、全方位センサシステム、センサネットワーク、ホビー用・研究用の二足歩行ロボットなどを専門に開発・製造・販売しているベンチャー企業である。独自技術を応用した二足歩行ロボットの開発を得意としており、自律制御のサッカーロボット「VisiON（ヴィジオン）シリーズ」を製作。同ロボットを用いた「Team OSAKA」の主要メンバーとして、「ロボカップ世界大会」にて世界五連覇を達成した実績を持つ。ロボット技術を元にした研究・教育用教材も多く手掛けており、大学及び大学院や高専での研究用途に向けた高性能・大型モデルから、高校や中学校、小学校高学年などに向けた入門レベルのものまで、幅広いラインナップを誇っている。

応できる安全性、それを実現する技術開発、また、今までにない教材であることから来る利用者の心理的ハードルといった、様々な克服すべき問題点が想定される。しかしながらロボット技術による生活革新は、単純な既存機器の代替にとどまらない、全く新しい価値と市場の創造にこそその本質が見いだされるべきであり、困難であるからこそチャレンジしていくべきであると考えられる。

（2）ロボット教材を使った教育プログラム

A）OECD生徒の学習到達度調査（PISA）による15歳生徒の学力

2000年の調査結果では日本の生徒の学力は数学的リテラシーが32か国中1位、科学的リテラシーは2位であった。それが2003年では科学的リテラシーは2位をキープしたが、数学的リテラシーは6位となってしまった。さらに2006年の調査結果では数学的リテラシーが10位、科学的リテラシーは5位と順位を下げ、2009年の調査でかろうじて数学的リテラシーで9位と順位を上げるも（科学的リテラシーは前年同順位の5位）、2000年の1位からは大きく下がったままであった。

B）理数系学習の重要度が増す時代

上記のPISAの結果だけがトリガーとなったわけではないが、2002年のゆとり教育施行元年ともタイミングが合わさり、「日本の子供たちの理数系離れの深刻化」がマスメディアを中心に話題となった。

また、民間の教育サービス（塾などのアフタースクールなど）機関では、「理数系教科に特化した講座の開発や目新しいカリキュラム作り」が流行となった。

4-9

～人を育てるロボットコンテスト（ロボコン）～

歴史が古く参加台数が多いロボコンのひとつに「全日本ロボット相撲大会」がある。2013年には1294台が参加している。毎年12月に行われる全国大会は両国国技館で開催されており、工業高校生の活躍が目立つ。ロボット相撲大会と並んで人気のある競技会がライントレースロボットによる「ジャパンマイコンカーラリー」である。2013年の延べ高校生参加台数は3564台、延べ参加校数は514校にものぼる。こうした大会に参加することは、高校生自ら積極的に勉強することにつながり、教育効果が高いことは広く知られている。

このように、高校生が多く参加するロボコンとは対照的に、社会人技術者が中心となって盛んになった大会もある。二足歩行ロボットによる格闘競技大会「ROBO-ONE」である。

「ROBO-ONE」では親子で参加するチームも珍しくない。技術者である親がロボットを製作し、ゲーム操作に慣れた反射神経の良い子供がロボットを操縦するパターンが一般的だ。ロボットの多くはゲームのコントローラで操縦するからである。

あるとき、試合前の控え室で子供が学校の試験勉強をしていた。それを見た父親が「いま、そんなことしている場合か？早くロボットの動作確認をしろ！」と叱りつけていた。いまどきの親には珍しい。時間と場所と場合をわきまえた行動をとれという社会教育なのだろう。このように鍛えられてきた学生と、学業成績至上主義で育てられた学生、あなたが会社の人事担当者だったらどちらを採用するだろうか？ ちなみにさきの例の子供は、その後希望した工科系の大学院にきちんと進学を果たしている。

図表　第23回　ROBO-ONEの様子
（2013年9月15日開催）

先川原 正浩（千葉工業大学　未来ロボット技術研究センター）

C）ロボット教材を使った教育プログラムの優位性

様々な教育機関が独自の視点で新しい理数系学習プログラムを開発しはじめ、多くは旧来のテキストとノートと黒板とを使用した座学から離脱し、実際に生徒自身が体験できるハンズオン教育のプログラムへと移行していった。

そんな中、最初にブレイクしたのが理科実験を主としたプログラムであった。生徒たちは実験の結果を推測し、実際に実験をし、その結果を観察し科学的見地を深めていく学習手法である。ゆとり教育の影響により理数系の多くの単元が先送りまたは削除されたことはこの理科実験教室を大いに後押しをした。

理科実験教室のプログラムは比較的作成しやすく、公教育の現場ではもちろんのこと、民間の教育サービス機関の多くがこの理科実験教室を開催し過当競争に陥った。一方で、カリキュラムなどの教育プログラムが作成しにくく、専門的である教材を使用したハンズオン教育に着手する団体もいくつか出てきた。その一つがロボット科学教育のようなロボットを教材とした教育プログラム（図4-13、図4-14）である。

図4-13　ロボット教材

図4-14　科学を学ぶ教室「クレファス」

2003年ころ、次世代ロボット産業は将来7兆円産業に成長すると言われ、TVなどのメディアには犬型ロボットや二足歩行をするヒューマノイドロボット、ダンスを踊るロボットなど、視聴者の興味関心を大いに惹くロボットが毎日のように登場し、2005年には愛・地球博が愛知県で開催され、ロボットが出展されたブースは数時間待ちの行列ができるほどの人気ぶりだった。まさに「ロボット」という単語は日本の明るい未来を象徴するようなキーワードとなった。

そんな夢のロボットを自分の手で組み上げられ、しかも理数系の学習にもなるという一石二鳥の教育プログラムは、好奇心旺盛な子供たちを魅了した。子供たちは、自らが作るロボットを理想通りに動かすために、様々な難問に立ち向かい自らの手と知恵と工夫で解決していく。

数学嫌いの学生の常套句で、「こんな公式、社会に出たら一生使わないじゃないか。」というのがあるが、同じ関数の公式を、「こんなに便利な公式があるんだったらもっと早く教えてくれればいいのに」と言う子供がこの教育を受けた生徒の中には多く存在する。

D）抱える課題

ロボットを教材とした教育ビジネスは一見成功しているかのように見えるが、アフタースクールマーケットの視点から見ると、まだまだその立場は確立されておらず、非常に小さなマーケット内でかろうじて一部の顧客層をターゲットに成り立っているに過ぎない。成功に至らない大きな原因はその教育の目玉であるロボットそのものにある。

「教育用」を謳うロボットキットは数多くあるが、指導要領で定める理数系の単元の多くを網羅することのできるロボットキットは残念ながらまだ少ない。限定されたロボットキットを教材に多種多様な理数系の学習単元を年間のカリキュラムに体系化させるというまさに職人芸のような技に成功した教育機関は生き残っているが、それができなかった多くの団体は淘汰されているという現実がある。また、ロボットキットの価格は非常に高額であり、入学を検討する家庭をかなりの割合で絞ってしまう傾向にもある。「ロボット」という魅力的な製品で新しいマーケットを開拓したにも関わらず、その「ロボット」がマーケットを狭めているというジレンマがそこにはある。

今後、ロボットを教材とした塾がビジネスとして成功するためには、学習指導要領に則った教育カリキュラムが付随する安価なロボットキットの開発が必須である。

～ロボカップとロボットビジネス～

ロボカップ（RoboCup）とロボカップジュニア（RoboCupJunior）は、ロボットと人工知能の新しい標準問題として「2050年、人型ロボットでワールドカップ・チャンピオンに勝つ」ことを設定し、その研究過程で生まれる科学技術を世界に還元することを目標としている国際的ロボット競技大会である。1990年初頭に日本人の若手研究者で構想され、1997年名古屋で開催された人工知能国際会議と一緒に第一回大会がサッカーシミュレーション、小型、中型の車輪移動ロボットのリーグで競われた。以降、毎年開催され、現在では、ロボカップジュニアを含めて、全世界の40以上の国と地域から、約400チーム、約3,000人の参加者が集う。ビジネスに関連した事例としては、2001年3月にバンダイ、タカラ、トミーの3社によってオープンアーキテクチャーに

よる遠隔操作型ロボットが発表された。これはロボカップトイズと呼ばれ、ライバル会社同士の協働と注目されたが、長くは続かず、現在活動を停止している。ヒューマノイドリーグのキッドサイズ部門に2004年からチーム大阪として.参戦したロボットベンチャー企業のヴイストンは、ルイ・ヴィトン社が提供するベストヒューマノイド賞を5年連続で受賞し、その技術力で勝ち残っている数少ないロボットベンチャーである。米国では、倉庫管理のネットワークロボット会社Kiva Systemsが2003年に設立された。多くの会社に納入実績があり、アマゾンに買収された。1999年のストックホルム大会の小型リーグで旋風を巻き起こしたコーネル大学のRaffaello D'Andrea教授（現在、スイスETH）が、設立者の一人であり、ロボカップからヒントを得たと伝えている。内外でのビジネス化への差が出た例であろう。

浅田 稔（大阪大学 大学院工学研究科）

4.1.6. エンターテインメント／コミュニケーションにおけるロボット化

ようやく「次世代ロボット産業」というものが誕生しようとしている。陰りの見えたIT産業の後を継ぐのは、それを現実世界に具現化させた存在としてのロボットではないかと世界の市場が考え始めた。それは、今まであったようなドメスティックなイベントに起因する一過性のブームとは大きく異なる。今後、世界を相手に戦うこととなり、その中で分野間での勝敗がはっきりしてくるはずだ。これは大きなチャンスでもあり危機でもある。白黒つかないからこそダラダラ続けてきたような研究は一気に淘汰されることだろう。

本論に入る前に前置きしておくと、ここで論じるのはあくまでもアナリストや国家が描いてきた規模の産業となりうる分野である。特殊用途のロボットや学術研究としてのロボットまでも「事業化」を強制してはならないと考えられる。

さて、ではどのような分野が期待に添うポテンシャルを持っているのか。既存のニッチな製品や作業を代替するロボットを生み出しても、例え全てが置換されたとしても同程度の市場にしかならない可能性が高い。ご存じの通り、Twitter も Facebook も YouTube もそうして生まれてきたわけではない。

一つには、小型ヒューマノイドロボット情報端末に大きな可能性があると考えられる。その背景として、ここ数年、薄型テレビを筆頭に、高機能・高性能な製品が凋落し、iPhoneのような優れたインタフェースを持つ製品に人々の関心が移った。しかしながら、そのスマートフォンにおいても、次世代インタフェースの本命と期待された音声認識機能がなかなか浸透しな

いまま消耗戦に突入してしまった。実はこれは認識精度の問題ではない。それを証拠に我々は金魚にだってクマのぬいぐるみにだって話しかけたりするではないか。本当の理由は、誰も四角い箱に話しかけたいと思わないことである。そこで、ロボットが人のような形をし、人のような動きやコミュニケーションをする意味が出てくるのだ。それは「目玉親父」のような小型ヒューマノイドロボットである。何か物理的な作業をしてくれるわけでもなく、非力で移動も遅い。しかし、我々はそのロボットと日常的に会話をする。今や「会話」は「暇つぶし」や「癒し」ではない。多くのITサービスにとって喉から手が出るほど欲しい貴重なライフログなのである。

そんなロボットの実現に一番重要な要素は何か。それは「最先端技術」でも「国家戦略」でもない。iPhoneやウォークマンのように、新しい存在を人々の生活の中に浸透させるコンセプトデザインなのだ。それは外観、大きさ、動作、台詞、使用シーンなどの細かいディテールデザインの集合である。幸い、我々はアニメ・漫画などのコンテンツ産業の中ですでにそのノウハウを持っている。

スマートフォンの次、それはメガネ型でも腕時計型でもない。日本発、小型ヒューマノイドロボット端末（図4-15）である。10年以内に、一人一台小型ロボットを携帯し、胸ポケットから顔を出したそいつと話しながら歩く時代が来るだろう（図4-16）。

図4-15　小型ヒューマノイドロボット端末

図4-16　端末の携帯イメージ

4.1.7.　生活福祉のロボット化（アザラシ型ロボット「パロ」）

人とのふれあいにより、楽しみや安らぎを提供することを目的とするメンタルコミットメントロボットについて、1993年から独立行政法人産業技術総合研究所が研究開発を行ってきた。主に2つの目的があり、一般家庭でのペット代替目的と、医療福祉施設でのアニマル・セラピーの代替として、ロボット・セラピーの提供目的である。

心理実験やプロトタイプによる主観評価実験等の結果により、アザラシの赤ちゃんをモデルとする「パロ」（図4-17）を開発し、改良を重ね、国内外の小児から高齢者までの各種医療福祉施設等での臨床評価実験により、評価データの蓄積を行った。第8世代目のパロを実用化し、

国内では、2005年にペット代替需要をメインに販売を開始した。さらに、国内外のユーザからのコメント等を参考にして改良を行い、2013年に新型第9世代のパロを商品化した。

図4-17　セラピー用アザラシ型ロボット・パロ

これまでに、世界では約30か国で3,000体が販売された。パロは外務省の「文化啓発用品」の認定を受けて、約20か所の在外公館にパロが配置され、「科学技術外交」の一環として、日本の文化と科学技術の紹介にも活用されている。

我が国では2,000体以上のパロが販売され、約60%が個人名義で、約30%が医療福祉施設であった。国内は、アニマル・セラピーへの理解が浅いためパロのメリットを理解されにくいが、「品質に対しては世界一厳しい」ことから、ペットとしてのパロの普及・啓蒙とともに、品質に関する社会での実証実験のため、個人でも手が届きやすいようにパロは約40万円と低価格で提供されている。近年は、ロボット・セラピーへの理解が深まってきているため後者の比率が高まっており、国や地方自治体の取組みも活発になってきている。

厚生労働省は、テクノエイド協会に「福祉用具・介護ロボット実用化支援事業」を委託し、2012年度は同事業の「モニター調査・実証実験」でパロを高齢者向け施設で評価し、高齢者へのセラピー効果や介護従事者の介護負担の軽減化等を示した。2013年度は、富山県南砺市による「地域包括医療ケアにおける在宅介護支援ロボット「パロ（セラピー用）」」を採択し、パロによる認知症高齢者の在宅介護支援について、セラピー効果と家族の介護負担の軽減化、在宅期間の維持等について評価した。その結果、「認知症行動障害尺度」では、認知症要介護者の周辺症状が有意に減少し、また、「Zarit介護負担尺度」では、介護者の介護負担が有意に減少した。特に「夜間不眠、不安に伴う行動や訴えの軽減」、「不意な立ちあがりによる転倒リスクの軽減」「夜間の頻回な尿意の訴えや、排尿を理由とした離床の軽減」により、ケア遂行における障害や困難が軽減され、介護負担の軽減になった。南砺市は、医療機関が連携し、パロを用いて認知症高齢者の高度化予防、介護者の介護負担緩和に取り組むことが有意であるとし、2014年度から、市単独事業でパロを在宅介護などに導入する事業に取り組むことを決定した。

岡山市は「岡山型持続可能な社会経済モデル構築総合特区」での「最先端介護機器の貸与モデル事業」において、現在、介護保険で借りられる車いす等13品目の「福祉用具」に、14品目目として「パロを介護保険に適用」し、利用者負担を1か月のレンタル料の1割、残りを国が4割、県と市、介護保険が各2割の補助を決めた。平成26年度末まで、地域の医療福祉関係者とも連携して、認知症高齢者の周辺症状（暴言、暴力、徘徊等）の緩和効果、家族の介護負担の軽減効果等を検証する。

神奈川県は、2010年から介護ロボットの普及推進事業により、パロを評価した。2013年度は、

介護従事者に対する「パロによるロボット・セラピーの研修」と、各施設での3週間の試用・評価実験を開始した。また、その研修を受けた介護従事者が所属する施設に対して、パロの正式導入時に神奈川県が「半額補助」し、導入から約3か月間の臨床評価を実施する予定である。

海外に関しては、2008年までに欧州やアメリカでの「安全認証」(CE、RoHS、UL、MET等)を各種取得し、医療福祉施設でのセラピーを主な目的として、福祉先進国であるデンマークを最初に、「国家による倫理審査」を経た後、「研修制度」とともに、輸出を開始した。欧州では、パロの価格は約5,000ユーロ(税抜き)であり、デンマークでは25%の消費税は免税になっているが、他の国や地域では、消費税がかかるところがある。同国では、2006～08年に国家プロジェクトでパロのセラピー効果が臨床評価され、メリットが認められたため、主に認知症高齢者のセラピーを目的に、70%以上の地方自治体に「公的導入」された。認知症高齢者の徘徊などの周辺症状の抑制により、年間約30万円の薬物使用量が無くなり、介護負担も低減化されたケース等が報告されている。さらにコペンハーゲン市は、認知症高齢者の在宅介護において、1軒に1体のパロを配置し、訪問セラピー等の際に、パロを活用し始めた。その他、発達障害、精神障害、脳機能障害等向けにも活用されている。研修終了後のライセンス取得者に、パロの活用と効果に関する記録を依頼し、ユーザ会議で発表してもらい、臨床データの蓄積を重ねている。

欧州では、他の国にも同様の仕組みで展開を図り、オランダ、ドイツ、スウェーデン、ノルウェー、フィンランド、スペイン、スイス、オーストリア、フランス等へ展開を行っている。ドイツでは、最初にニーダーザクセン州 がパロを用いた認知症高齢者や発達障害者等の在宅介護での訪問セラピーの費用を「保険適用」とし、その後、ドイツ全土で適用となり、各地でパロを用いた訪問セラピー・サービスが始まった。ドイツでは、セラピー・ドッグの教育に1頭当たり約25,000ユーロがかかる。また、フランスでは、犬によるアニマル・セラピーのコストは、1時間当たり約70ユーロであり、いつでも安心して使えるパロは、非常に低価格である。

アメリカでは、2009年9月までに、パロはFDA(食品医薬品局)から「安全性」と「効果」の評価を受け、「神経学的セラピーのための医療機器(Class 2)」の承認を得て、その後、主に医療福祉施設向けに導入され始めた。パロの価格は6,000ドル(税抜き・1年保証)か、毎月200ドルのリース(3年間・保証・メンテナンス付)である。

パロは官民の医療福祉施設等に導入され、臨床データの蓄積が行われている。特に、退役軍人省病院のVA Palo Alto Health Care Systemは、併設のスタンフォード大学医学部とともに、カリフォルニア州Palo Alto市周辺の4つの認知症高齢者ケアユニットにおいてパロ活用の記録と評価を行い、周辺症状(BPSD)やPTSDの緩和・抑制効果、抗精神病薬利用の低減化、転倒等のリスクの低減化を示した。2013年から全米のすべての退役軍人省病院に導入された電子看護・介護記録システム向けに、「パロ活用電子記録・評価システム」を開発し、マサチューセッツ工科大学高齢化研究所とともに、さらなる臨床データの蓄積を行っている。また、民間の高齢者向け施設等においても、臨床データの蓄積を行い、パロによるセラピーについて、メディケア等の保険制度への適用を目指している。

その他、発達障害児のセラピーへの活用についても、パロの導入が進んでおり、臨床データの蓄積がなされている。イェール大学心理学部はRCT（Randomized Controlled Trial: ランダム比較評価）の準備を開始した。また、UCアーバイン校医学部は、1回あたり3時間から5時間程かかる、がん患者の化学療法の際に、パロを用いることにより、痛み、不安、疲れを低減化し、QOLを向上させられることを臨床実験で示し、学会発表している。

オーストラリアでは、グリフィス大学がRCTによりパロの認知症高齢者への非常に良好なセラピー効果を示した。このPLのProf. Moyleは、WHOでICD-11（International Classification of Diseases: 国際疾病分類）の理事でBPSD（Behavioral and Psycho- social Symptoms of Dementia: 認知症の周辺症状）の担当である。その評価結果を参照しつつ、2013年9月に医学ジャーナル「Lancet Neurology」が、パロのセラピー効果、薬物使用量の低減化効果、費用対効果について、大規模RCTの必要性を訴えた。これらを踏まえて、National Health and Medical Research Council（NHMRC）は、1.15Mオーストラリアドル（約1億円強）をかけて、2014年4月から、約30カ所の高齢者向け施設で、約400名の認知症高齢者を対象とする大規模RCTによる治験の実施を決定した。

その他、ニュージーランド、香港、シンガポール等でもパロの臨床評価や導入が始まっている。

4.1.8.　ホテル・旅館におけるロボット化

（1）加賀屋のロボット導入事例

和倉温泉加賀屋（1906年9月創業）は、旅行新聞新社が主催する2013年第38回「プロが選ぶ日本のホテル・旅館100選」で総合1位、サービス生産性協議会（http://www.service-js.jp/）が選ぶ「ハイ・サービス日本300選」の第1回受賞企業に選ばれるなど、その「おもてなし」には多くのお墨付きがある。加賀屋では、1989年に雪月花（投資額120億円）を新築の際に料理のロボット搬送システムを導入した。客室係が部屋に料理を運ぶ作業労力を軽減・効率化し、ロボットが直接お客と接することは無いが、客室係りがお客と接する機会を増やし、サービスの質の向上につなげるものである。また、ロボット搬送システムは、料理の運搬作業を安全かつ正確に行うことができる。

サービス産業のロボット化として、ロボットが直接的に人にサービスするのではなく、人の作業労力を軽減・効率化し、全体としてサービスの質を向上させることを目指した例である。

（2）ハウステンボスのスマートホテル構想

ハウステンボス株式会社は、2013年10月にスマートホテルの基本構想を発表した。ハウステンボスが新たに取り組む「スマートホテル」は、自動化やロボット化による世界最高水準の生産性と、積極的な再生エネルギーの活用によるランニングコストの低減の実現を目指している。人、ロボット、自然に加え、新しいコミュニケーションを融合させ、これまでにない新しい体験を提供する。

多くのロボット技術を導入した人件費の大幅な削減と、ロボット技術による次世代のサービスやロボットならではの新しい体験の創出を両立し、快適で新しい「おもてなし」を実現する。具体的には、①サービスロボット（掃除用ロボット、搬送用ロボット、食品加工ロボット、警備ロボット、リネンロボット、受付・案内ロボット）による人件費の大幅削減、②コミュニケーションロボット（コンシェルジュロボット、ソフトクリームロボット、すし職人ロボット、バーテンダーロボット）によるコミュニケーション（笑顔）の創出、③空間知能化ロボット（センシング、見える化、ローカルクラウド）によるエネルギー・セキュリティ管理を行う。

また、太陽光、太陽熱、風力、井戸熱など地域に適した様々な自然エネルギーを活用し、長期的にはインフラの届かない地域でも運営可能なホテルとして、世界展開のプロトタイプとなることを目標にしている。

4.1.9.　外食産業におけるロボット化

2013年12月4日「和食：日本人の伝統的な食文化」がユネスコ無形文化遺産に登録された。「自然の尊重」という日本人の精神を体現した食に関する「社会的習慣」が世界文化遺産として認められた。これを契機に、日本の食文化がより世界に広まる可能性がある。

日本の食文化になくてはならない食材は“お米”である。“お米”に関係するロボットは、鈴茂器工株式会社が高い国内シェアを誇る。鈴茂器工株式会社は1981年に世界初となる寿司ロボットを開発した。現在では、寿司・のり巻きロボット（図4-18）、おむすび・盛り付けロボット、炊飯システムなど、ご飯に関するロボットの開発販売を手がけており、米国やEUの基準を満たした製品など、各国の地域に適した製品を展開している。

また、アサヒビールは、「2013年国際ロボット展」に、生ビールのディスペンサーロボットを公開した。センサでジョッキの有無を判定し、アーム先端のセンサでビールの液面の高さを認識する。あらかじめサイズなどを設定し、最大6個の容器に注ぐことができる。最初は泡を立てずにグラスの側面に沿って注ぎ、最後に泡を後づけしてうまいビールを提供する。このように、外食産業においてロボットの活用が進んできた。

日本の大手外食産業では、原材料の調達・卸などの流通、セントラルキッチンによる調理、中間製品のロジスティクス、最終工程における飲食物の調理、注文システムを進化させた回転寿司チェーンなどの接客等、自動車などの製造業と同じ大量生産型の産業と同様に、各プロセスでモジュール化やシステム化が進んでいる。

図4-18　小型シャリ玉ロボット

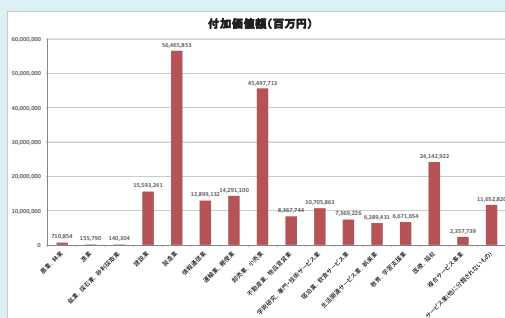
（出典：鈴茂器工株式会社HPより）

コラム 4-11

～日本の産業別の 市場規模（付加価値額）労働生産性とロボット化～

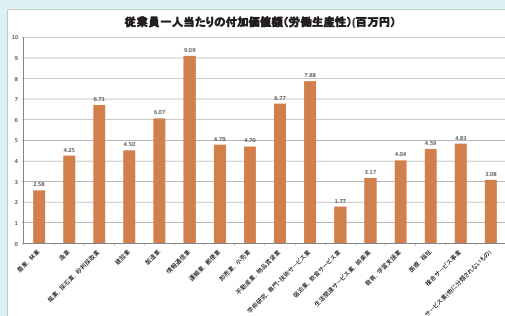
総務省統計局平成24年経済センサス - 活動調査によると、2011年1年間の各産業の付加価値額（企業の生産活動によって新たに生み出された価値：付加価値額＝売上高－費用総額＋給与総額＋租税公課）をみると、「製造業」がもっとも規模が大きく56兆円、次いで「卸売業・小売業」45兆円、「医療・福祉」が24兆円となる。マクロの市場規模でみると、これらの産業のロボット化は日本経済に大きなインパクトを与えることになる。

また、2011年1年間の「従業者一人当たりの付加価値額（労働生産性）」は、「情報通信業」が909万円ともっとも高く、次いで「学術研究、専門・技術サービス業」が788万円である。逆に、「宿泊業・飲食サービス業」がもっとも低く177万円である。ただし、従業員の雇用形態（正社員・正職員、パート・アルバイト）や労働時間の違いなどは考慮していないため産業間で比較する場合には注意が必要である。しかし、労働生産性の低い「宿泊業・飲食サービス業」は、他の産業に比べロボット化により労働生産性を高める余地があると考えられる。

公益財団法人日本生産性本部「日本の生産性の動向2013年版」によると、2012年の日本の労働生産性は71,619ドルで、OECD加盟34カ国中第21位である。主要先進7カ国では1994年から19年連続で最下位となっている。製造業はもとより様々な産業のロボット化により、日本の産業全体の労働生産性の底上げが期待される。

（出典：総務省統計局
平成24年経済センサス - 活動調査を基に作成）

（出典：総務省統計局
平成24年経済センサス - 活動調査を基に作成）

みずほ情報総研

第4章

4.2. 研究・技術

4.2.1. 基本技術領域

（1）ロコモーション

A）学会の動向

ロボット移動技術に関する学術研究の流れは、近年では新たな移動機構提案よりも、既存の移動機構を用いた応用指向の研究開発にシフトして来ている。2013年9月に開催された第31回日本ロボット学会学術講演会においても、アプリケーションが明確でない移動機構提案は減っており、例えば「移動ロボット」のセッションでも自己位置推定や複数ロボットの協調制御など、高度なセンサ情報処理によるロボット周囲の環境認識や、それをベースとした自律・半自律移動などの発表が多い。一方では、応用のセッション（レスキューロボット、福祉、カーロボティクスなど）にロボット移動技術に関する研究発表が分散しており、ロボットの応用にとって基盤的な技術であることから、継続的に研究開発が推進されている。

B）移動機構の棲み分け

近年の実用化事例や研究開発動向を俯瞰してみると、大きく分けて屋内及び路面の整備がされている市街地移動は車輪型、凹凸の激しい不整地はクローラ型（一部、大車輪型）、階段は脚型やクローラ型（または、その融合型）に収束してきている。開発や製作にかかるコスト面では、一般的に車輪型、クローラ型、脚型の順番にコストが上がることから、比較的平坦な場所で移動するロボットの実用化が先行して進んでいる。

C）期待される応用分野

2009年から開始されたNEDO「生活支援ロボット実用化プロジェクト」では、今後数年以内に実用化が期待されるロボット分野を対象に研究開発が行われている。その中で行われている研究開発のほとんどは、搬送、警備、清掃などの自律移動ロボット、人が搭乗する形で移動を支援する立ち乗り型ロボットや電動車いす等のパーソナルモビリティロボット、人に装着して移動を支援するパワーアシストロボットなどであり、移動に深く関係した研究開発が行われている。今後特にこういった分野の移動ロボットが徐々に市場に出ることが期待され、人混在環境や人を直接的に支援するためには、移動技術の安全性や信頼性を高める技術開発を重点的に進める必要がある。一方で、社会的な要請などから、原発事故対応ロボットなど、人が近づけない極限環境で移動するロボットも重要な応用分野であり、遠隔操縦型や自律移動型ロボットに関する高信頼な技術開発が期待される。

D）今後の方向性

今後は、移動ロボットの要素技術としては、小型軽量のバッテリ開発などに期待したいが、移動機構についてはアプリケーションごとに最適化が図られるものと考えられる。一方で、研究開発の主体は、移動技術とセンサ情報処理技術との融合への流れがますます加速すると思われる。また、移動機能の検証については、実験室や研究施設内などで実施する段階から、早く公共の場を含む現場での実証試験が可能なレベルにロボットの完成度を底上げし、現場からのフィードバックを開発に取り込む流れを作ることが重要である。パーソナルモビリティロボットについては、別の章で取り上げられているように、「つくばモビリティロボット実験特区」において公道走行実証実験が開始されており、早期実用化が期待される。

なお、本節では紙面の関係で、別の節で紹介されるヒューマノイドの2足歩行技術や、飛行ロボット、水中ロボットに関する移動技術は除いた。

（2）マニピュレーション

A）技術概要

ロボット工学において、マニピュレーションとは物体操作を指す。マニピュレーションは、通常、マニピュレータにより行われる。マニピュレータは、機械の腕と手により構成される。この機構に、アクチュエータとセンサを組み込み、計算機制御することにより、マニピュレータが実現する。

このようなマニピュレータの源流は二つある。ひとつは産業用ロボットであり、もうひとつは人工知能の研究を実装するハンド・アイシステムである。この二つの分野が、黎明期よりロボット工学の発展を牽引してきた。その結果、機構、力学、制御の面での体系化が完成している[1]。

近年は、航空機、車両など、移動体におけるロボット工学の発展が著しく、この分野の技術との融合が期待されている。マニピュレーションのロボット工学を踏み台として、新しいロボット工学の分野が開拓されつつある。

B）技術動向

マニピュレーション分野の技術動向として、(1) 適用分野の拡大、(2) 新しいハードウェアの開発、(3) センサとの融合による新しい機能の獲得があげられる。以下、各項目について詳しく見る。

C）適用分野の拡大

柔軟物ハンドリング

ロボットマニピュレータを適用することにより、溶接、塗装などのラインの自動化が進んで

いるが、電気系統の配線など、柔軟物の組み立ては、相変わらず人手に頼ることが多い。これを改善するためには、柔軟物ハンドリングの技術開発が必要である。

ここで鍵となるのは、センサによる柔軟物の認識である。例えば、視覚センサと触覚センサの導入により、自動車組み立てラインにおけるワイヤハーネスの組み付け作業が実現されている[2]。

外科手術

マニピュレーション技術の新たなフロンティアのひとつに外科手術などの医療分野があげられる。ロボットによる安全かつ高度な手術を実現するためには、ロボットマニピュレータの遠隔操作、バイオメカニクスのシミュレーション、生体組織のハンドリングなど、高度な技術の集積と統合が求められる。近年、この分野の需要の拡大が見られる。

フィールド作業

ロボット開発の主たる動機は、ひとつには、危険作業のロボットによる代行がある。航空、宇宙、原子炉など、フィールドにおけるマニピュレーション技術に対する需要は大きい。この分野におけるマニピュレーションでは、外科手術の場合と同様、遠隔操作、シミュレーションが重要となる。

D）新しいハードウェアの開発

双腕マニピュレータ

単一マニピュレータにより実現できるマニピュレーションには自ずと限界がある。ロボットによるマニピュレーションを人間に近づけるためには、双腕マニピュレータの適用が必要である。このような認識のもと、双腕マニピュレータの研究、開発が行われている。

パラレルマニピュレータ

パラレルマニピュレータとは、マニピュレータの機構にパラレル機構を用いているマニピュレータである。パラレル機構とは、機構の先端部を複数の並列機構により支え、駆動する機構である[3]。この機構により、高速、高精度のマニピュレータが実現できる。産業用途に対し、製品開発が進められている。

E）センサとの融合

マニピュレーションにおいて使われるセンサは従来、力覚センサであった。柔軟な組み付け動作の実現に使われた。これに加え、近年、MEMSなどの進歩により、慣性センサ、視覚センサの小型、軽量化、高機能化が急速に進んでいる。これにより移動体の知能化、実用化の流れが加速しているが、マニピュレーションの分野においても、これらのセンサの取り込みと融合が急展開するものと期待される。

参考文献

[1] Bruno Siciliano, Oussama Khatib（Eds.）, Springer Handbook of Robotics, Springer, 2008.

[2] Xin Jiang, Kyong-Mo Koo, Kohei Kikuchi, Atsushi Konno, and Masaru Uchiyama, “Robotized Assembly of a Wire Harness in a Car Production Line,” Advanced Robotics, Vol. 25, No. 3, 4, pp. 473-489, 2011.

[3] 内山勝、“パラレルマニピュレータの機構と特性”,日本ロボット学会誌,Vol. 10, No. 6, pp. 715-720, 1992.

（3）通信・ネットワーク

ロボット元年と呼ばれた1980年代のロボットの研究開発は、ロボットと呼ばれる機器の性能向上（可搬重量、動作速度、精度など）とそれによる自動化が主であった。1960年代に人工知能の一つの分野として研究が始まった知能ロボットの研究は、その後、無限定環境への適応性を向上させるためのロボットの知能化・自律化へと展開した。しかし、ロボット単体の知能化・自律化には技術的な限界があることから、1990年頃から分散化・マルチエージェント化の研究開発が活発化した[1-3]。この背景には、通信ネットワーク技術の進歩と、プラント制御におけるアーキテクチャの集中制御から階層制御、さらには自律分散制御への移行という分散化の流れの影響を強く受けている。

分散型ロボットシステムは、複数の要素（サブシステム、個、ユニット、モジュール、エージェント、細胞〔セル〕などと呼ばれる）から構成される。それが整合的、かつ合目的的に動作するためには、複数の要素間での通信と協調が鍵となる。ロボットが複数の内部要素から構成される場合、その要素間の通信系は、いわばIntra-networkであり、CANをはじめとするバスや、体内LANなどといった有線通信技術で構成される。ただし、自己組織型ロボットなど、複数のモジュールの合体によって構成されるロボットシステムでは、組み換え容易性の観点から、モジュール間で赤外線通信が用いられることも多い。一方、複数のロボット間での通信系は、いわばInter-networkであり、以前は無線モデムなどによる無線通信が用いられていたが、最近では無線LANなどが使用されることが多い。また、大局的な無線システムは、ロボット（モジュール）の台数の増加により、通信量の増加、ネットワークへの負荷の増大を招き、輻輳などの問題を引き起こすことから、比較的通信距離が短い局所的な通信（Bluetooth、Jigbee、UHF帯RFIDなど）も活用されるようになった。ロボットの外部に、いわばロボットの脳としての情報処理系を設置し、通信によって接続することで高度な知的機能を実現しようとする、リモートブレインの研究[4]が行われた。近年では、ネットワークとクラウドコンピューティングの普及により、このようなシステム構成の実現がより容易になった。

通信を用いたマルチエージェントロボットに関しては、群ロボット、自己組織化ロボット、モジュール型ロボット、分散センシング、分散プラニング、分散制御、協調制御などの研究が行われてきた。特に昆虫のように、多数のエージェントによる分散知能の研究は、Collective

IntelligenceやSwarm Intelligenceと呼ばれている。本来、ロボットの機能はロボット自体の物理的制約によって限定されているが、ロボット間通信は、そのロボットの制約を開放し、システムの自由度を拡大することを可能とする。このように、通信を用いたロボットの自己制約や自由度を拡大するという考え方は拡自行動と呼ばれる[5]。

通信を用いた複数のロボットの協調技術は、RoboCup（自律型ロボットによるサッカー競技会）[6]などに応用されていたが、実際のアプリケーションとしては、防衛・軍事において（分散型情報収集、サーベイランスなど）用いられることが多かった。近年では、通信によって多数の移動ロボット（AGV）を協調的に動作させることが可能な自動倉庫システムなどが開発されている[7]。

ロボットシステムの分散化に関しては、単にロボット間通信を用いたマルチロボットシステムだけでなく、空間（環境）自体をエージェント化・知能化・ロボット化したり（空間〔環境〕知能化技術）、さらにこれとロボットを協調させたりすることで、効率的な動作や適応的なサービス提供を可能にするようなシステムの開発も行われている。空間知能化技術としては、動物や昆虫のマーキング行動をモデルとした、知的データキャリア（IDC: Intelligent Data Carrier）というデバイス（電子フェロモン）が開発され[8]、これを環境に設置しながら、複数のロボットが局所無線通信により、環境を介した情報共有、協調動作が可能なシステム開発が行われている[9]。災害時に被災者を音声で探索できる情報インフラとして、IDCをレスキュー用に機能拡張したレスキュー・コミュニケータも開発されている[10]。また、ロボティックルーム[11]、インテリジェントスペース[12]、空間知[13]などの空間知能化研究も行われているが、これらのシステムはいずれも通信・ネットワーク技術に強く依存している。

一方、遠隔操作型ロボットシステムでも、通信・ネットワーク技術は不可欠な技術である。災害対応では、災害現場に投入したロボットや機器と操作室を通信で結び、遠隔で操作しながら様々な調査や作業を行う必要がある。このような通信インフラには、ロボットに搭載したカメラの映像を送るために、高速で大容量の帯域幅が要求される。また、災害現場では通信インフラを新たに構築しなければならないケースが多く、迅速に通信インフラを展開・構成可能であることも求められる。無人化施工システムでは、2.4GHz帯や5GHz帯の無線通信が利用されているが、福島原発の事故後、それらの周波数帯域の輻輳や障害物環境に対応すべく、VHF帯（180/200MHz）やホワイトスペースの活用も検討が進められている。なお、長距離の遠隔操作に対しては、光ケーブルによる有線通信との併用が有効である。

以上、通信・ネットワークについて述べたが、ロボット技術（RT: Robot Technology）による産業創出を考えた場合、ロボットと呼ばれる機器単体の開発のみならず、空間知能化も含めた分散的なシステム技術こそ、大きな波及効果が期待される技術であり、そこで通信・ネットワークが果たす役割は極めて大きい。安定な通信手段の確保と活用が、様々なロボットのニーズに応え、市場を拡大する上で、極めて重要である。

参考文献

[1] 淺間　一：”マルチエージェントから構成された自律分散型ロボットシステムとその協調的活動”、精密工学会誌, vol. 57, no. 12, pp. 2117-2122 ,1991.

[2] 淺間　一：“マルチエージェントロボットシステム研究の動向と展望”，日本ロボット学会誌,vol. 10, no. 4, pp. 428-432 1992.

[3] 淺間　一：”複数の移動ロボットによる協調行動と群知能”,計測と制御,vol. 31, no. 11, pp. 1155-1161,1992.

[4] http://www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp/research/rbr/robots-j.html

[5] 川端邦明,淺間 一,田中雅之：“ マルチロボット環境下におけるロボットの拡自行動：ロボット間コミュニケーションの創発による環境共創”、2002年計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会,横浜,11月（2002）.

[6] http://www.robocup.or.jp/

[7] KIVA System
http://www.kivasystems.com/

[8] T. von Numers, H. Asama, T. Fujita, S. Kotosaka, S. Miyao, H. Kaetsu, I. Endo: An Intelligent Data Carrier System for Local Communication Between Cooperative Multiple Mobile Robots and Environment, Proc. 2nd IFAC Conf. on Intelligent Autonomous Vehicles, pp. 366-371,1995.

[9] 藤井輝夫,淺間　一,倉林大輔,嘉悦早人,遠藤　勲：“知的データキャリアによる群ロボットの機能創発”,日本ロボット学会誌, vol. 17,No. 6, pp. 848-854 1999.

[10] 羽田 靖史, 川端 邦明, 淺間 一, 野田 五十樹, 滝澤 修, 田所 諭, 中込 宏:“社会インフラ研究プラットフォーム：レスキュー・コミュニケータ”,Quarterly Report, Vol. 2, No.8-17, 2005.

[11] T. Sato, Y. Nishida, H. Mizoguchi: Robotic Room: Symbiosis with human through behavior media, Robotics and Autonomous Systems, Nol.18, pp. 185-194, 1996.

[12] J. H. Lee and H. Hashimoto: Intelligent Space - Concept and Contents, Advanced Robotics, Vol.16, No.3, pp.265-280, 2002.

[13] 水川　真,山口　亨：“空間知機能デザインに関する研究”,第７回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集、pp. 534-537, 2006.

（4）人とロボットのコミュニケーション

ロボットが人とコミュニケーションする必然性はどこにあるのだろう。人間同士で話すことが一番自然であるが、人が話をしたり、ジェスチャでコミュニケーションしたりする代わりにロボットがコミュニケーションをした方が有益である場面や社会的ニーズが介護現場、病院、商店街などで増えてきている。これらのニーズに対応できるロボットができれば、それを利用する必然性が生まれてくる。

たとえば、来る人来る人にティッシュ配りやビラ配りを行う光景が公共施設や駅、商店街などでよく見かける。こうした単純作業をロボットに代行する意味は大いにある。介護現場で介護士が同じ名前やモノの名称を高齢者や障害者に繰り返し語りかけることや、患者が何度もナースコールで看護師を病室に呼び出し、話しをするなどのコミュニケーションシーンでは、介護士や看護師の負担軽減が喫緊の課題になっている。実際、人型やぬいぐるみ型ロボット、ア

ンドロイドなどで代行する社会実験がすでに行われ、効果があることが報告されている。一般に、人間と同じコミュニケーション機能をロボットに実現するとなると、人に迫る音声認識や画像認識能力を要求しがちになるが、コミュニケーションロボットの利用シーンでは、むしろ音声認識能力以上に、実際のサービスアプリを開発するには、人の表情の変化や周囲環境の状況（被介護者の行動、患者が話したくなる頻度、社会・人間関係、商店街の混み具合や騒音の状況、移動物体との衝突回避ができるか，等）を把握する能力の方が要求される。

これらの点を考慮すると、コミュニケーションロボットの場合、センシング機能として、画像認識（見る）、音声認識・理解（聞く）、触・圧覚（触られている）、環境認識などがある。アクチュエーション機能として、話す、移動する（点字ブロックを越えられるなど走破性に関するもの）、持ち運ぶ（人やモノを持ち上げる）、ジェスチャする（指さし、アイコンタクトなどの視線制御）などがあげられる。次に、知的な制御機能として、ロボット、環境センサ、インターネット情報とネットワークを介して協調・連携することによって、ロボット単体では不足する情報（ネットワークロボット）を制御する、遠隔操作者によって制御する、ビッグデータを検索する、等の機能が必要になる。

これまでの実証実験から、これらのロボットを人が使い続けると、愛着が湧いているものやすぐに飽きてしまうものなど、様々にわかれる。その原因が上記の性能だけでなく、ロボットの見え（または見かけ）にあることも分かってきている。人型ロボットや人間とそっくりの顔立ち、身体で動くアンドロイドなどと人がコミュニケーションして、人間同士の対話との類似点や相違点を脳科学・脳計測などの手法で分析が進められている。こうした客観的な計測によって、コミュニケーションロボットが社会に受け容れられる基本技術が確立していくと予想する。独居高齢者や高齢者夫婦などが約65％も占める我が国において、人に代わって、話す機会を与えてくれる、コミュニケーションロボットに対する需要は今後、急速に伸びていくことが期待されている。

4.2.2.　注目技術

（1）安全工学

A）サービスロボットの安全

サービスロボットは次世代産業として期待されており、安全性はその産業化に欠かせない要素である。国際的に安全性はISO/IEC Guide 51 [1] を頂点として規格として体系化されており、日本国内でも国際安全規格を踏まえたサービスロボット安全に関係する国のプロジェクト [2-4] が実施されている。

サービスロボット安全は次の理由から設計時に考慮すべき事象が増加する。

• サービスロボットの使用者、使用環境は多様であり、またそれらと密接に相互作用するため、使用状況が多様である。
• 国際安全規格に基づく安全設計では、機械設計時の意図する使用だけでなく、使用者の合理的予見可能な誤使用を設計者は考慮する必要がある。

よって、系統的に安全設計を進め、見落としや手戻りを減らすことがサービスロボットの効率的な開発では重要である。また、合理的予見可能な誤使用に起因する事故の責任を機械設計者に求めた日本の判例もあり[5]、安全設計を適切に実施することは、サービスロボットビジネスを持続的に発展させるためにも重要である。

B）サービスロボットの国際安全規格

サービスロボットに関する国際安全規格ISO 13482[6]は、2014年2月1日付けで正式に発行された。同規格では次の3つのロボットを例に取り、サービスロボットの安全設計の考え方をまとめている。

• mobile servant: 自律的に移動しタスクを実行するロボット
• personal mobility: 人を乗せ移動するロボット
• power assist: 人が装着し人の動きを支援するロボット

同規格の構成は以下となっている。

1章. 適用範囲
2章. 参考規格
3章. 用語と定義
4章. リスクアセスメント
5章. 安全要求事項と保護方策
6章. 安全に関する制御システムの要求事項
7章. 妥当性検証
8章. 使用上の情報
付属書A. パーソナルケアロボットの重要な危険源
付属書B. パーソナルケアロボットの稼働空間の例
付属書C. 安全防護空間の実装の例
付属書D. パーソナルケアロボットの機能タスクの例
付属書E. パーソナルケアロボットの警告表示の例

参考規格（2章）の主要なものは以下である：ISO 12100:2010（JIS B 9700:2013）（リスクアセスメントと安全設計原則）、IEC 60204-1（JIS B 9960-1）（電気安全）、ISO 13849（JIS B 9705）（制御安全）、IEC 62061（機能安全）。

リスクアセスメント（4章）に詳細な記述は無いが、付属書Aの危険源リストはリスクアセスメントの「危険源の同定」に有益な情報である。また、付属書Bではロボットの稼働空間を保護停止空間、安全防護空間、監視空間、制限空間、最大稼働空間に区分して、リスクアセスメントの「機械類の制限の決定」を見通し良く決めるための情報を提供している。各空間の関係の具体例が付属書Cで示されている。

安全要求事項と保護方策（5章）では、ロボットの動き、バッテリ、人の認識能力等に関する危険事象と3ステップメソッドによる保護方策が16節にわたり説明されている。

安全に関する制御システムの要求事項（6章）では、制御安全・機能安全として実現される安全機能（例：非常停止、速度制限）と要求事項が11節にわたり説明されている。いくつかの安全に関する制御システムのパフォーマンスレベルが例示されている。

サービスロボットの具体的な設計に利用できる数値（例えば人とロボットの許容される接触力）はISO 13482に示されておらず、今後の同規格の改定で関連情報が追加されることが期待されている。現状では、同規格はサービスロボットの安全設計を進めるうえでの指針的に用いるのが適していると考えられる。

C）災害対応ロボットの安全

自然災害の多い我が国にとり、災害対応ロボットの必要性は論をまたない。また、近年の国際情勢の不安定化により、テロ災害対応ロボットの必要性も国際社会で要求されるようになってきている。現在未整備である災害対応ロボットの安全基準を策定し、災害対応ロボットの普及を促進することは、ロボット技術を用いて安全安心社会の構築を目指す我が国にとって、早急に取り組むべき課題といえる。

文献[7][8]の委員会では、災害対応ロボットの安全基準を各分野の専門的立場から検討し、安全基準の確立に必要な情報を明確化することを目的とした調査が行われた。以下にその調査の概要を示す。

災害対応ロボットの多くは、レスキュー隊員などの訓練を受けた使用者が、人命救助等の公共性の高い目的のためにロボットを使用すると考えられる。同じように公共性の高い鉄道分野の安全規格では、鉄道RAMS規格[9]と呼ばれ、鉄道の信頼性（Reliability）、可用性（Availability、使いたい時に使える程度）、保守性（Maintainability）、安全性（Safety）を総合的に規定している規格である。鉄道RAMSのリスク評価の特徴として、「サービスが提供できるかどうか」という可用性を主とした要素も障害の酷さの評価で用いられている点がある（ISO/IEC Guide 51[1]に基づく機械安全でのリスク評価では、このような可用性の要素は明示的には考慮されていない）。これは、鉄道が高い公共性を持っており、鉄道輸送サービスの欠如が社会に対して大きなリスク（通勤の混乱による事故の増加等）を生じさせるためと考えられる。すなわち鉄道RAMSでのリスク評価は、人に対する安全性と輸送サービスの可用性のバランスを明示的に考える構造を持っていると解釈できる。

消防関係者が使用する災害対応ロボットはNBC災害対応などの公共性の高い目的を持って

使用される。よって災害対応ロボットの安全性は、鉄道RAMSでの安全性と可用性とのバランスを考えたリスク評価の構造が適していると考えられる。すなわち、使用するレスキュー隊員や要救助者への単純な安全性だけでなく、提供するサービス／ベネフィットの可用性とのバランスを考えて、災害対応ロボットのリスク評価を実施すべきと考えられる。なお、この安全性と可用性のバランスの判断には利用現場の特性の十分な理解が必要であり、バランスの最終的な判断主体はロボットを使用する災害対応関係者になると考えられる。

レスキュー隊員の災害対応ロボットの操作者は、徹底した訓練の下でロボットを利用する。よって災害対応ロボットの開発者が特に考慮すべき残留リスクは、レスキュー隊員が訓練により低減することの困難な防爆、電磁ノイズ（EMC）、ユーザインタフェース（UI）における人間工学的配慮、除染、保守・点検のリスクであると考えられる。

なお、同委員会は3年間の設置を予定していたが、事業仕分けにより2年目の調査段階で終了し、具体的な安全基準策定には取り組めなかった。同委員会より公表された調査結果は、同委員会関係者により米国での災害対応ロボットの標準化活動（ASTM E54 Homeland Security Application）に引き継がれ、関連規格策定の一助を担っている。

D）ロボコンと安全

学生の手作りロボットで競技を行うロボットコンテスト（ロボコン）は、高い教育効果から国内外で広く取り組まれている[10]。安価で高出力なバッテリ（LiPoバッテリ等）等のロボット用部品の高性能化だけでなく、3D-CADやNC加工機の普及等によりロボット設計技術も向上し、現在のロボコンロボットは競技課題によっては人間の能力を凌駕しているものもある。このようなロボットの高性能化にともない、ロボコンロボットの開発、使用に伴う事故の増加が懸念される。

一般に大学、高専等での教育現場での安全教育は「いかに安全に機械を使うか」という労働安全的教育が中心である。一方、ロボコンで必要とされる「いかに安全なロボットを作るか」という機械安全的教育は、現在の学校教育では個々の指導教員に任されている場合が多く、指導教員毎の安全指導の差が懸念される。このため、ロボコンの運営側から積極的に安全に関する要求をロボコン参加チームに求める事が行われている。以下にその例を示す。

- 使用するすべてのエネルギー源（充電器等を含む）のリストと取扱説明書を実行委員会に申請する[11]。
- 安全対策確認シート（ロボット作業用、作業環境用）により安全性を事前にチェックし、その結果を実行委員会に提出する[12]。
- ルールブックの冒頭に安全に関する注意事項を入れ、実行委員会としての安全重視の姿勢を明示している。ロボット作成における安全対策を3ステップメソッドを元に例示している[13]。

ロボコンへの参加学生は、ロボコンでの勝利に近視眼的に重きを置きすぎ、安全対策を怠る

場合がある。このようなロボコン安全の特徴を踏まえ、参考文献[12]のロボコンでは「安全対策は一見回り道に見えますが、危険がないように整理整頓すること、シンプルな構造にすること、危険な部位を減らすこと等により、作業性の向上も見込めます。」と周知し、ロボコンでの勝利と安全が両立しえる事を伝え、ロボコン安全の効果的普及に努めている。

ロボコンに参加している学生達は、次世代サービスロボット産業の担い手でもあると考えられる。ロボコン安全とサービスロボット安全の連携も、サービスロボット産業化加速の一助となるであろう。

参考文献

[1] ISO/IEC Guide 51, Safety aspects- Guidelines for their inclusion in standard, 1999.

[2] NEDO「生活支援ロボット実用化プロジェクト（H21-H25）」http://www.nedo.go.jp/activities/EP_00270.html

[3] 経済産業省「ロボット介護機器開発・導入促進事業（H25-)」http://robotcare.jp/

[4] 経済産業省「グローバル認証基盤整備事業 先端分野に係る機能安全に関する認証システム基盤整備 生活支援ロボット（H24）」http://www.meti.go.jp/information/publicoffer/kobo/downloadfiles/k130222002_01.pdf

[5] 損保ジャパン日本興亜リスクマネジメント　クラブ、『食品容器製造機』のPL判決紹介, No.　56

[6] ISO FID 13482, Robots and robotic devices -- Safety requirements for personal care robots, 2013.

[7] 日本機械工業連合会,日本ロボット工業会,平成21年度災害対応ロボットの安全基準策定に関する調査研究報告書,H21.

[8] 日本機械工業連合会、日本ロボット工業会、平成22年度災害対応ロボットの安全基準策定に関する調査研究報告書,H22.

[9] IEC 62278 Railway Applications, The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety（RAMS）.

[10] 日本ロボット学会ロボット教育論文特集号,第 31 巻第 2 号, 2013.

[11] レスキューロボットコンテストホームページhttp://www.rescue-robot-contest.org/

[12] NHK高専ロボコン2013ホームページhttp://www.official-robocon.com/jp/kosen/kosen2013/index.html

[13] アジア太平洋放送連合（ABU）ロボコン2014 ホームページhttp://roboconindia.com/

（2）空間知能化

空間知能化は、空間を対象とした知能化のプロセスであり、①観測、②事象の抽出、③知能、④働きかけ、の4つの部分に分けられ、その各々がさらに細分化された研究対象となっている。空間全体がロボットの機能を持つという観点から、空間のロボット化といえる。

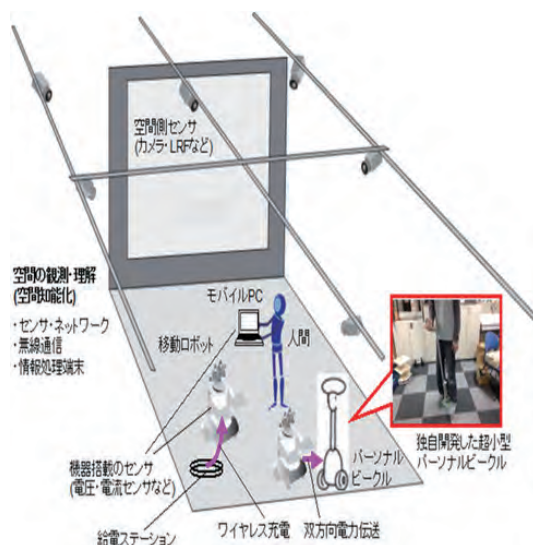
空間知能化では対象空間内に人間が存在することによって、対象となる空間自身及び人間と空間との状況（サービス）に関する複雑性・多様性が著しく増大する。この観点が単なるインテグレーションと異なるが、一方、空間という物理的ドメインの設定によってセンサを用いた観測が増大し、複雑性・多様性を減じることができる。

具体的な研究及び技術に関しては、「ロボット情報学ハンドブック第12章空間知能化・環境構造化、ナノオプトニクス・エナジー、近代科学社、2010年3月」にまとめられている。ここでは、エネルギー管理に関する新しい研究を紹介する。（図4-19）に示すように空間内に分散配置されたカメラから、空間内での使用者である人間及びモバイル機器（PC、スマートフォン、パーソナルビークルなど）の各々の状態（位置、姿勢）が観測される。さらに、各モバイル機器は保有エネルギー（電池残量）を計測するセンサを搭載しており、これらのセンサは無線通信によってネットワーク化されている。空間は、モバイル機器の保有エネルギーを常に確保することを目的として、人間及び各機器の観測に基づき以下の事項を行う。ここで、補充とは電池などの取り換え或いは充電を意味する。

- エネルギー補充用機器の指定（電池交換用移動ロボットか充電用移動ロボットの指定）
- 補充時刻の指定（各機器がいつエネルギーの補充を行うか）
- 補充位置の指定（各機器がどこでエネルギーの補充を行うか）

空間は、使用者及び各モバイル機器の位置と保有エネルギーを観測し、その分布を得る。使用可能な電池交換用移動ロボット及び充電用移動ロボットの状態（位置、電力容量、移動速度、移動時電力消費、充電効率）を用いて、エネルギー補充後の各モバイル機器の位置及び保有エネルギーを推測する。これらの情報に基づき、複数ある補充用機器の中から最適な利用機器を選択し、エネルギーの補充を行う時刻と場所に関する戦略を作成する。この時、物理的に繋ぐという動作を行わないワイヤレス電力伝送による柔軟な充電は強力なツールとなる。現状では、確率モデルを用いた推定を行っており、さらに人間の認知特性を取り込む方向での研究へと向かっている。

図4-19　空間知能化システム構成イメージ

空間内の人間及び機器が常時観測されることと、ワイヤレス電力伝送によるエネルギー補充の自由度の確保によって空間と一体化した今までにないエネルギー管理が実現される。

（3）サービス工学

A）サービスとは

サービスとは行為であり、プロセスである。一般に、無形で触れない（intangibility）、状況や文脈によって品質の差が起きやすい異質性（heterogeneity）、実施するとともに消費され

(inseparability)、在庫ができない(perishability)という特徴を備えると言われている。2004年には、Service Dominant Logicが提唱され、顧客の価値はすべてサービス(プロセス)を介して顧客とともに創られる(共創される)ものであるとされた。ロボットのようなモノは、サービスを提供するための媒体という位置付けになる。

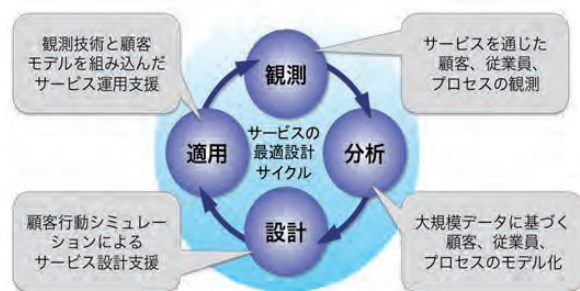
B) サービス業の労働生産性

多くのサービス業は製造業に比べて労働生産性が低い。2005年の中小企業庁の調査報告によれば、大企業製造業の労働生産性が7,095円/人時であるのに対し、大企業の飲食・宿泊業は2,216円/人時、中小では1,842円/人時である。相対的に生産性が低い理由として、サービスは在庫ができず需要変動をバッファできないため待機や機会損失があること、価値の異質性に対応するために従業員の観察と経験が不可欠であり自動化が難しいことなどがあげられている。

C) サービス工学

サービス工学とは、サービス業の生産性を向上させるための科学的アプローチの体系と、それを支える技術群である。需要予測や、異質性への対応を、経営者や従業員の勘と経験にのみ頼らずに、データに基づく科学的アプローチで解決することを指向する。このために、サービスプロセスを観測し、分析した上で、仮説を立てて新たなサービスプロセスを設計し、それを適用し検証するというサイクルを、サービス事業者自身が自主的に廻せるようにする(図4-20)。

図4-20 サービス工学

観測技術としては、顧客や従業員の潜在的な行動要因を引き出すためのエスノグラフィーや行動観察手法、顧客や従業員のサービス提供時の行動を記録するためのセンシング技術がある。センシング技術がサービス現場に適用されれば、状況と環境、従業員のサービス提供行動と顧客の受容行動に関する大規模データが蓄積されることになる。この大規模データを分析し、状況や環境、行動、関連因子の関係性を明らかにするためにデータマイニング技術が用いられる。顧客の受容行動に基づいて顧客を類型化するカテゴリマイニング技術と、カテゴリ間の確率的関係をモデル化する技術などがある。このような確率的モデルによれば、需要変動を状況や顧客カテゴリに応じて予測できる。また、その需要予測に対してマルチエージェントシミュレーションによって従業員のサービス提供プロセスを模擬的に実施し、状況変化に強靱なサービスプロセスや従業員シフトを設計する技術も開発されている。設計されたサービスプロセスを従業員が実施(適用)する際に支援

をする技術も、ハンドヘルド端末などを活用して実現されている。端末は、サービス提供現場での顧客満足度を観測することにも利用されている。

D）適用事例

飲食店（寿司チェーン店）に一連のサービス工学技術を適用した事例を紹介する。POSシステムから得られる大規模データをマイニングした結果、顧客は昼定食型、夜飲み会型、昼懐石型など20弱のカテゴリに分類された。天候や周辺のイベントなどから店舗毎、カテゴリ毎の需要予測を行った。これを仕入れに反映させることで廃棄ロスを低減するとともに、近隣店舗間での従業員シフトを効率化する設計を行った。これには、マルチエージェントシミュレーションを活用した。また、従業員の店舗内でのサービス提供行動を詳細にセンシングし、需要の高い時間帯に顧客接点が増えるようサービスプロセスの改変も実施した。この結果として、追加注文が増加した。

E）サービスのロボット化

サービスのロボット化は、サービスそのものを画一化して自動化することではない。サービスの価値には異質性があり、状況や環境、顧客の文脈に応じたプロセス提供が必要である。ロボット化の第一段階は、顧客接点以外のサービスプロセス（バックヤード）を自動化することである。老舗旅館が配膳ロボットを用いて部屋のすぐそばまで自動配送している事例（4.1.8）がこれに相当する。第二段階は、ロボットを介してサービスプロセスのデータを収集し、それをリアルタイムに処理して､サービスの異質性に対応したプロセス提供を支援することである。ロボットのデータ処理能力は、人間の勘と経験を十分に凌駕する。ロボット化によって画一的なプロセスに自動化するのではなく、ロボットと従業員の協調により、効率的で、多様なサービスプロセスを柔軟に、かつ、適切に提供できるようになるものと期待している。

（4）ヒューマノイド

1996年にホンダが非常に完成度の高い自律型二足歩行ロボットP2を発表したことをきっかけとして、その後多くのヒューマノイドがSONYやトヨタといった企業や大学、研究機関等で開発された。近年では欧米でもヒューマノイドの開発が盛んになっている。

ヒューマノイドはマニピュレーション機能や画像処理機能など、ロボット分野の様々な要素機能をシステム化したロボットであるが、その特徴的な機能は二足歩行機能であろう。2000年に最初のモデルが発表されたホンダASIMOの歩行速度は年々向上し、2011年には2.7km/hと人と協調して働けるスピードに近づきつつある。

米Boston Dynamicsが開発したAtlasは外乱や歩行路面の凸凹度合いに対して非常に高い適応能力を持つことが動画で示されている。P2以降に開発された多くのヒューマノイドロボットは電動モータとハーモニックドライブと呼ばれるバックラッシュの小さい減速機を用いて関節を駆動していたのに対して、Atlasは油圧によって関節を駆動しており、従来とは駆動方式

が大きく異なっている。油圧による駆動方式は、不整地等に適応する上で必要となる俊敏な動作の実現に貢献しているものと考えられる。

本質的に不安定な二足歩行を移動手段として利用するヒューマノイドには、転倒時に人を含む外部環境、自分自身への被害を最小限に抑え、転倒状態から回復して活動を継続できる機能が不可欠である。この機能の実現に対する取組はいくつか見られるものの未だ十分とは言えない。

人に近い形態を持つヒューマノイドは、ロボットが家の中や街中を歩き回り、様々な日常作業を代行してくれる未来の到来を期待させる。しかしその能力は未だ非常に限定的というのが現実である。近未来での実応用を考えた場合には、求められる機能に最適な形態と最小限の機能を備えたロボットを個別に開発するのが現実的ではあるものの、人に合わせて整備された環境で人に代わって働くロボットの形態として人型であることが最適であることは間違いなく、今後さらなる技術開発が望まれる。

（5）BMI

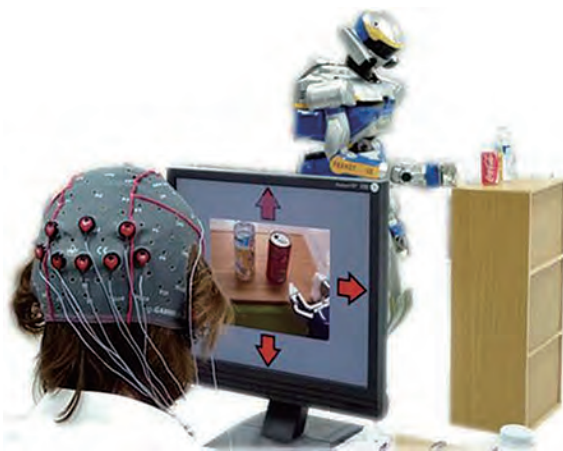
脳-計算機インタフェース（Brain computer interfaces, BCI ）または、脳-機械インタフェース（Brain machine interfaces , BMI ）は、脳の活動を計測・処理し、システムの指令に変換する機器である。これが完全に実現されれば、BMI技術は人間・機械インタフェース技術（Human-Machine Interface, HMI）のブレークスルーとなりうる技術である。実際、現在のHMI（キーボード、ジョイスティック、音声読み取り、Kinectなど）は、脳からの遠心路の結果生じる人間の意図を変換する機器である。これに対し、BMIはこの遠心路をスキップして人間の考えを機械の指令に変換する。BMI技術は、ロボット車いす、ロボットハンド・アーム、外骨格型アシスト機器やヒューマノイドによる複雑な作業まで、異なるロボットシステムに指令を与えることが可能で、特に重度の障害を持つ人が計算機やロボットを使用するのに大変有用であることが示されてきている。現在はその性能は限定的なものであるが、その技術面・性能面での改善の余地は十分にあり、大きな潜在的市場が期待される。すでに、簡便なBMI機器はゲーム分野で製品化されている。ロボット工学分野においては、念じることでロボットを操作できるようになれば、人間・ロボット間意思伝達をより簡単化することができ、ロボットをより直観的かつ簡単に操作することができる。

BCI、BMIという用語は、一般雑誌等では心や考えを読み取る機器という意味で濫用されることもしばしばであるが、実際は異なる。現在のBCI技術は使用者の心を読んだり、人間の思考を抽出したりするにはまだ程遠い段階で、どちらかと言えば「脳の刺激反応」の信号処理プロセスというほうが正しい。BCIシステムの主要な構成要素は、脳の活動計測装置である。それらの多くは医学分野の神経学で使用されている脳の計測技術から派生したものであり、侵襲・非侵襲の脳の活動計測技術がある。侵襲的な脳活動計測技術は、脳に直接電極を設置するもので、特に重度の障害者に対する明確な医学的な目的を持っている。脳波（EEG）や機能的医療画像装置などの非侵襲的技術は、より一般的な仕様への拡張が考えられる。しかしこれ

らの技術は特殊な使用条件を要しており、より高精度、高信頼度の脳活動計測には、さらに研究開発が必要である。

非侵襲的技術で計測された脳の計測信号は、使用者の深い意図を読み取るにはまだ粗く、大まかすぎるのに加え、一般に信号・雑音比の性能が低い。したがって、BMIの使用においては、(一定のトレーニング段階の後で）事象への反応あるいは定常状態誘発電位などの脳からの応答信号の信号処理が主要な部分となる。これらの信号は、事象の認識や、刺激に対応する分類を行う形で処理される。脳の電気的信号を計測する際に良く知られた電位信号はP300というもので、使用者が期待した事象が生じた際に生じるものである。また、定常状態誘発電位（SSEP）は、脳の視覚・聴覚的刺激に対する脳の応答である。また、機能的核磁気共鳴画像（fMRI ）による脳活動計測により、「運動イメージ」として、関心領域を分類することができる。まとめると、基本的な考えとしては誘発電位や運動イメージを通して脳の応答が「どのように見えるか」を取り出し、誘発された応答を、脳の活動パターンの違いとして検出することを目指すものである。

BMIを使用したロボット制御システム（図4-21）では、刺激や事象を、作業に対応するセンサの特徴的信号に関連付けることが一般に行われている。以下に二つの例を示す。一つは、例えばロボットを移動させる場合、その移動方向を示す矢印を、ランダムに表示される視覚・触覚の事象として定義する方法である。ユーザが意図する方向に対応する矢印に対して、脳からP300信号が誘発されるため、BCI信号処理装置でこれを検出する。誤検出を避けるため、同様の選択が数回行われた後にこれを確定する。この後、所望の動作や作業の指令がロボットに送られる。もう一つの方法は、対応する作業を物体に関連付けることである。物体についてあらかじめ学習しておけば、ロボットの視覚システムによりこれを認識し、ユーザに対し複数の物体を異なる周波数で点滅させて提示することができる。ユーザが画面上で意図する物体（特定の周波数で点滅）に意識を集中すると、SSEPの検出によりその物体に対応する作業が自動的に選択され、作業指令がロボットに送られる。これらの方法をさらに高度化したり、異なる形態で実現したりすることが可能である。神経フィードバックはロボットを制御する一つの方法であるが、ユーザにはさらに訓練が必要となり、ロボットアームなど連続的な動作にのみ適用可能である。神経フィードバックは、ユーザの持続的な訓練の後、誤差逆伝搬法によりロボット運動の基本レパートリーを取得する際にも使用可能である。

図4-21　BMIを使用したロボット制御システムイメージ

（6）高齢者クラウド

A）空間工学

バーチャルリアリティ（VR）という言葉が初めて使われるのが1980年代の末のことである。コンピュータによってつくられた人工的な世界を、あたかもそれが現実であるかのごとく疑似体験することができる、というのがこの技術のポイントである。この技術は本来、情報工学由来のもので、ロボティクスとどんな関係があるかといぶかる人も少なくないのではないかと思われる。

しかしながら、VR技術のポイントのひとつは情報を「身体的」「空間的」に扱うことが出来る、という意味において、ロボット技術の特徴である空間運動系に関連することは非常に多い。加えて、触力覚のような機械的感覚の合成において必要とされるディスプレイは、まさにロボティクスにおけるマスタースレーブ機構そのものであり、これがテレプレゼンスのような遠隔臨場制御のような中間領域を形成しはじめると、まさにVRとロボティクスの境界はあいまいなものとなる。

1990年代に入ると、ミクスト・リアリティ（MR）と呼ばれる技術が生まれる。これはコンピュータの内部に存在するVRの世界と、現実の物理世界を融合させようという技術であり、現在のサイバーフィジカルに至る流れのひとつがここで形成され始める。

MRの分野において、わが国は世界的にも先進的役割を演じており、たとえば1997年に通産省（当時）は、キヤノンとの合同プロジェクトとしてMRシステム研究所を設立して、MR技術の基礎的研究に着手した。ここでは現実世界にVR技術を重畳させるための装置としてのシースルー型HMDの開発、裸眼立体ディスプレイの開発、実世界の3D情報からCG世界を合成する手法の開発などが研究された。これらの研究は、現在のgoogle glass、google street viewなどとは独立して研究開発されたものであり、今後花開くであろうMRの世界に、わが国は一歩先んじたことは記録に止めるべきである。

MRをより拡大解釈すれば、実世界と仮想世界をシームレスにつなぐ技術ということになるが、この分野は20世紀末から21世紀はじめにかけて急速に進歩した。たとえばユビキタス技術は空間の中に超小型のセンサを分散配置することを可能とし、さらにモバイル技術はそこに運動という動的側面をも加えることになった。

こうした実世界系技術は、本来の情報技術である巨大データベース由来のビッグデータ技術と融合し、たとえば実世界ライフログ、先述のサイバーフィジカルシステムなどのようなより大きなスケールを有する次世代MR技術へと進化を始めている。

本来ロボット技術は、現実世界のアクチュエーションを目的とする技術であり、ここで述べたような空間系技術の基盤となる技術のひとつであることは言うまでもない。

B）高齢化応用

わが国は、超高齢社会を迎えようとしている。人口問題研究所の調査によれば、2055年には、65歳以上のいわゆる「高齢者」の人口比率が40％を突破すると言われている。もはや高齢者はマイノリティではなく、社会の主要構成員となるわけで、これまでのように福祉的観点のみから高齢化問題を語っていては社会全体が立ちいかなくなってしまうであろう。

つまり、高齢者を「守られるべき弱者」としてではなく、「社会を支える強者」として位置づける、新しい社会システムの構築が求められているわけである。とはいうものの、高齢者が若年層同様に就労しつづけるのは無理があることも事実であり、こうした観点からの技術支援が必要とされている。

高齢者の就労支援のためにロボットやITを活用しようという方法論はまだ十分社会に認知されているわけではなく、ほとんどの応用事例が介護応用である。産学を巻き込んで、比較的明示的に高齢者とロボットというキーワードで実施されたのが、JSTのCOEプログラム「少子高齢社会と人を支えるIRT基盤の創出」（通称IRT　2006〜）である。これは、東京大学とトヨタ自動車をはじめとする企業群により実施されたもので、高齢化によって生じる運動能力・知的能力に関するハンデをロボット技術や情報処理技術によって補完しようというものである。このプロジェクトではパーソナルモビリティと呼ばれる自律移動能力を有する超小型ビークルによる移動支援、ユビキタスセンサを大量に配置した見守りルームによる記憶支援、遠隔操作ロボットを含むテレプレゼンス技術による体験支援などの可能性が試みられた。

IRTの基本理念である「高齢者の自立を機械力によって実現する」を、さらに先鋭化させたプロジェクトがJSTの戦略的イノベーション（S－イノベ）のテーマとして採択された「高齢者の経験・知識・技能を社会の推進力とするためのICT基盤」（2011年〜）である。これは現在も東京大学と日本IBMにより実施されているもので、単なる高齢者支援というよりは、就労支援という、より生産に特化した目的を有している。このプロジェクトでは、「モザイク」という仮想労働力の概念が提案されているが、これは高齢者のスキルを形式知化し、それをデジタルメディアの中で仮想化し、需要に適合した労働力として再構成しようというものである。ここでもっとも重要な概念はクラウドソーシングであり、高齢者をデジタルメディアで包み込むことにより、社会のニーズに合致したバーチャルな労働者をアバタとして合成する。アバタは広義に解釈されており、もっとも現実世界に近いアバタがロボットであり、ロボット技術はサイバーフィジカルの実現手段として期待される。

（7）認知発達ロボティクス

将来人間社会に導入されるロボット達は、日本に代表される高齢社会の中で、物理的な作業支援に加え、コミュニケーション能力に付加されるべく情緒的な相互作用能力が望まれるが、これは、人間自身の認知発達の過程を理解することなしには、実現が困難である。人間の認知発達過程の理解を目指して、脳神経科学、認知科学、心理学、社会学など、多くの科学分野が

挑戦しているが、一つの分野で完全な理解の達成は非常に困難と考えられる。そこで、逆にロボットなどの人工物を駆使した構成的手法、すなわち認知発達ロボティクスと呼ばれるアプローチが注目を浴びている。

認知発達ロボティクスとは、理解の対象となる人間の発達モデルを人工物の中に埋め込み、環境の中で作動させ、その挙動から、発達モデルの新たな理解を目指すものである。核となるアイデアは、物理的埋め込み（身体性）と社会的相互作用で、それらは、他者を含め環境との相互作用を通じて、情報を構造化する。発達の諸様相は、埋め込みの内部発達メカニズムと、養育者が大きな要素となっている環境との相互作用の経緯ならびに結果と考えられ、当然のことながら相互に密に関連する。ただし、それらがどのような関係なのかは明らかでない。単一の機構による機能創発過程の様々な視点からの現象としてとらえるのか、複数の機構による相互作用としてとらえるのか？これは、どのレベルに焦点を合わせるかといった見方の違いだけなのか？この問題に対して、人工的なシステムを構築し、作動過程を通じて検証したり、新たな解釈を提供しようとしたりするのが、構成的手法であり、特にヒトの認知発達に焦点を当てたのが「認知発達ロボティクス」である。

認知発達ロボティクスの焦点は、自律エージェントが環境との相互作用を通して、世界をどのように表現し行動を獲得していくかといった、ロボットの認知発達過程にある。特に、環境因子として他のエージェントの行動が自分の行動をどのように規定していくかという過程の中に、ロボットが「自我」を見出していく道筋が解釈できるのではないかという期待がある。知的行動を人間のレベルで求めるので、人間以外の動物にも可能な連合学習から、人間特有のシンボル生成／利用の記号学習、すなわち言語獲得に至る過程（言語創発）が、ロボットの内部構造と外部環境の多様かつ制約的相互作用の中に見出されなければならない。このようなヒトの認知に関する研究は、従来、認知科学、神経科学、心理学などの分野で扱われてきた。そこでは、説明原理による理解を目指しており、認知発達ロボティクスが志向する設計原理に基づくものではない。しかしながら、人間理解という共通基盤をもとに、工学的アプローチからは、「システム構成による仮説検証や新たな認知科学的仮説の生成」が、認知科学、神経科学、心理学などの分野に提案され、逆に、これらの分野から、「システム構成への仮説」が工学的アプローチに提案され、相互フィードバックによる認知発達モデルの構成と検証が可能である。それが認知発達ロボティクスのひとつの理想形である。

コラム 4-12

～社会に課題を求め、社会での解決を探り、必要なロボティクスを創り、育て、社会に定着させる新しいロボティクスの創出～

福島第一原子力発電所事故に際しては、日本のロボットは米国のそれに比して初動において遅れをとった。一方、iPodやスマートフォンに代表されるように、日本は、ウォークマンや携帯電話という先駆的な試みをもちながら、その後の世界展開に禍根を残す結果となっている。また、ロボット先進国といわれながら最近の欧米のロボットと比較してみると、日本のロボットは、残念ながら存在感、迫力に欠ける。何が問題なのであろうか？

社会に課題を求め、社会における解決を見出し、それを可能にする科学技術を創出し、社会に定着させる一貫した、しかも、世界をみすえた、変化に対応して自らをタイムリーに変えてゆくたゆまざる取組に欠けていたのではないだろうか？このコラムでは、このような一貫した取組を特徴とする新しいロボティックス分野を『コミュニティ共創ロボティクス』と総称して、その姿を明らかにしたい。

コミュニティ共創ロボティクスは、ロボット研究者と社会を構成するコミュニティメンバーとの共創により創成される点にその特徴がある。生活分野の社会共創ロボティクスは、地域コミュニティを構成するNPOやサービス業者、市や県や国の関連機関、ロボットメーカ、金融、マスコミとロボット研究者より構成される生活コミュニティによって共創される。その一方、災害対応コミュニティ、交通コミュニティ、生産コミュニティにより、対応分野の社会共創ロボティクスが共創される。

コミュニティ共創ロボティクスは、広い意味でのセンシング、プラニング・アクチュエーションより構成される。コミュニティ共創ロボティクスで特徴的なセンシングに、コミュニティのセンシングやコミュニティを構成する人の活動センシングがある。特に、センシングが広域性をもつ社会センシングは、新しい領域である。このような社会センシングデータは、大量、広域性を特徴とするいわゆるビッグデータとなる。社会ビッグデータの構築法やそのクラウド化が、センシング関連技術として確立されなければならない。

コミュニティ共創ロボティクスにおけるプラニング・アクチュエーションでは、センシングデータに基づいたコミュニティやその構成員の分析と構造解明が科学として可能であり、そのための情報処理技術としての社会データマイニングとともに、その結果に基づいて、コミュニティをデザインしたり、人々の活動をデザインするセンシング・プラニングの新しい研究領域が形成される。つまり、コミュニティが求めるサービスやロ

第4章

ボットを、広域視点からデザインし実現する技術が求められる。社会サービスのデザイン理論、アクチュエーション理論の構築などを確立することが最終的に求められる。一方、アクチュエーションの効果を評価することも重要であり、社会効果を評価するための脳機能評価や社会学的評価技術や、脳機能評価の知見、生活機能評価の知見の集積が求められる。

あえて、誤解を恐れずに表現するならば、これまでのロボティクスは、機械としてのロボットを動かす学問領域であったのに対し、コミュニティ共創ロボティクスでは、社会やコミュニティやそのメンバーを動かすロボティクスであるといえる。

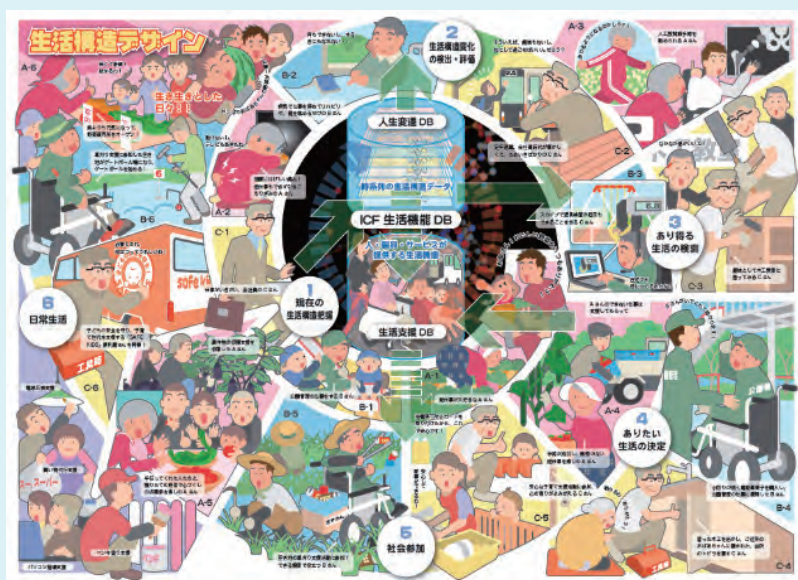
コミュニティ共創ロボティクスにより、現状の社会やコミュニティの課題は、常時、タイムリーに抽出され、その研究によりコミュニティが定量的に把握解明されることになる。社会コミュニティが必要とされる支援や機能が、全世界を視野に入れたロボットによって実現されること、さらに、これらの活動が、情報時代の新しい家族やコミュニティのありかたとして社会に定着することがコミュニティ共創ロボティクスの効果として期待される。形と動きを有するロボットや人間が研究対象となっている点が、単に情報処理のみを対象とする情報研究とは異なる。

佐藤 知正（東京大学 フューチャーセンター推進機構　RTイノベーションコンソーシアム）

～生活機能変化適合社会のための生活デザイン・エコシステム～

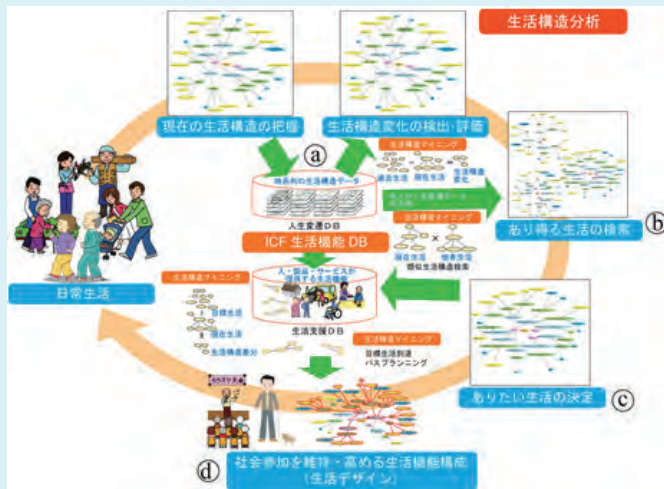
子ども、女性、高齢者、障害者といった多様な機能変化がある人々が、生活を適切にデザインすることで、安全に生活でき、その能力が最大限引き出される「生活機能変化適合社会」の創造が求められている。機械の設計（デザイン）の場合には要求機能に応じて、様々な機構・モジュールを組み合わせることで設計されるが、これと同じように、私たちの生活の場合にも対応すべき生活機能の変化に応じて、支援モジュールを統合することで生活をデザインする新たな方法論が求められている。しかし、今のところ、誰しもが経験し得る生活デザインの問題の解決を支援してくれる産業や科学技術は未整備であり、個人の努力に委ねられているのが現状である。

図表1は、本研究で目指す社会「生活機能変化適合社会」における生活デザインサイクルを書いたものである。**図表1**は、何らかの生活機能低下が生じた際に、それを検出し、世界保健機関の提唱する生活機能モデル（ICF）に基づいて記述・蓄積された他の人の生活のデータベースを活用することで、ありえる生活の提示、ありたい生活の選択支援、生活支援ロボットモジュールの統合によるありたい生活の実施、その評価を通じた持続的生活改善によって、社会参加の質が高まっていく循環プロセスを示している。

図表1　生活機能変化適合社会のための総合的生活デザインサイクル

生活機能モデル（ICF）とは、1）手足の動作や計算などの心身の機能、2）食事・排泄・歩行など基本的活動を行う機能、3）それらが組み合わさって可能となるレジャー、家事、仕事などの社会参加のための機能に関する分類を指し、この生活機能という切り口によって、生活で必要となる機能や、生活の中で実際に使われている機能を幅広く整理することが可能となる。

生活デザインの科学的アプローチの中でも、強力になりえるものが、生活現象を扱う数理体系そしてそれを計算機の上で扱うための計算理論の開発を通じたアプローチである。生活現象という集合に何らかの位相（構造）を入れ幾何学化することができれば、解析可能な体系を構築することが可能である。最近、ICFのコード体系を用いて、リハビリテーション病院、老人ホーム、住宅改善事業者、消防庁などの持つ事故データ、保健師などによる生活調査データなどの様々な生活データを表現し、グラフ構造として記述することで数理的に取り扱える体系（生活幾何学）構築の試みも始まっている。

第4章

図表２　生活デザインのための生活幾何学的アプローチ

生活機能変化適合社会の実現には、新たな生産システムが必要となる。これまでの消費者購買行動フィードバック型大量生産方式だけでなく、健康で安全な生活を実現する生活者行動フィードバック型柔軟生産方法が求められる。生産技術の観点からは、文字通り一品生産を含めた多様な量の生産を可能とする完全無人化工場（ロボティクス工場）や 3D プリンタなどの生産技術が利用可能になりつつある。一方、生活者理解技術の観点からは、生活者の地域生活を大規模データから、生活幾何学的アプローチなど何らかの情報技術を援用することで知識化し、生活者起点の生産に役立てる知識循環の仕組みも可能になりつつある。

このような技術背景は、生活者、強力な情報処理技術・ロボット技術を援用可能にする技術や仕組みの導入、柔軟な生産システムがうまく連携することで、多様な生活機能を持つ生活者に手早く、きめ細かく対応しつつも、産業として成立させることのできる新たなエコシステムの実現可能性を示唆している。

西田 佳史（産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究センター）

4.3. 推進施策・関連法令

4.3.1. 国の主な推進施策（各府省庁等の取組と役割）

我が国では、国等が率先してロボットやロボット技術（Robot Technology、RT）またはそれらの要素技術の研究開発や実証、社会実装を推進することを通じて、我が国の国際的な貢献をも視野に入れた技術水準の向上、ビジネス環境の整備、安全・安心でレジリエントな社会の構築等を図ることを目指している。これらの取組として、世界のトップを目指した先端的な研究の推進、今後の我が国の国富拡大や国際的な競争力とプレゼンスを担う新たな産業の創出・育成、国際標準化への貢献等について、政府全体の政策的方針や計画、総合科学技術会議における議論等に基づき、各府省庁の政策的意図に応じた様々な取組が進められている。

（1）最先端研究開発支援プログラム

例えば、世界のトップを目指した先端的研究を推進することにより、産業、安全保障等の分野における我が国の中長期的な国際的競争力、底力の強化を図るとともに、研究開発成果の国民及び社会への確かな還元を図ることを目的とした、「研究者最優先」の研究支援制度として「最先端研究開発支援プログラム（FIRST プログラム）」が創設されている[1]。

このプログラムは、総合科学技術会議における検討を通じて平成21年度に創設されたものであり、例えばロボット関係では、筑波大学大学院システム情報工学研究科の山海嘉之教授によって、ロボットスーツ等を人間の思い通りに動作できるよう高度化させ、リハビリや高齢者の生活支援等に応用する研究が進められている。このプログラムは、ロボット関係以外でも、例えばノーベル賞を受賞した田中耕一氏（株式会社島津製作所田中耕一記念質量分析研究所／所長）や、山中伸弥氏（京都大学物質-細胞統合システム拠点iPS細胞研究所／所長）の研究が進められており、我が国を代表する研究者を対象として、研究者が研究に集中できるサポート体制や多年度で運営できる研究資金など、「研究者最優先」を特徴とした研究支援制度である。この制度は平成25年度をもって終了することから、平成26年度からの新たな制度設計に向けて、総合科学技術会議の「最先端研究開発支援推進会議」において「革新的研究開発推進プログラム（仮称）」に関する検討が、アメリカのDARPA（Defense Advanced Research Projects Agency：国防高等研究計画局）のモデルを参考に進められている[2]。

（2）ロボット介護機器開発・導入促進事業

経済産業省の主な施策としては、平成25年度から5年間にわたり、「ロボット介護機器開発・導入促進事業」（図4-22）が進められていることがあげられる。この事業では、(1) 現場のニーズを踏まえて経済産業省及び厚生労働省が重点分野を特定（ニーズ指向）、(2) ステージゲート方式による研究開発によって使い易さ向上とコスト低減を加速（安価に）、(3) 現場に導入するための公的支援・制度面の手当て（大量に）をコンセプトとして、経済産業省と厚生労

第4章

働省が共同で策定・公表した「ロボット技術の介護利用における重点分野（平成24年11月、平成26年2月3日改訂公表）[3]」のロボット介護機器の開発・導入の支援を行うことにより、要介護者の自立促進や介護従事者の負担軽減を実現し、ロボット介護機器の新たな市場の創出を目指した事業である。

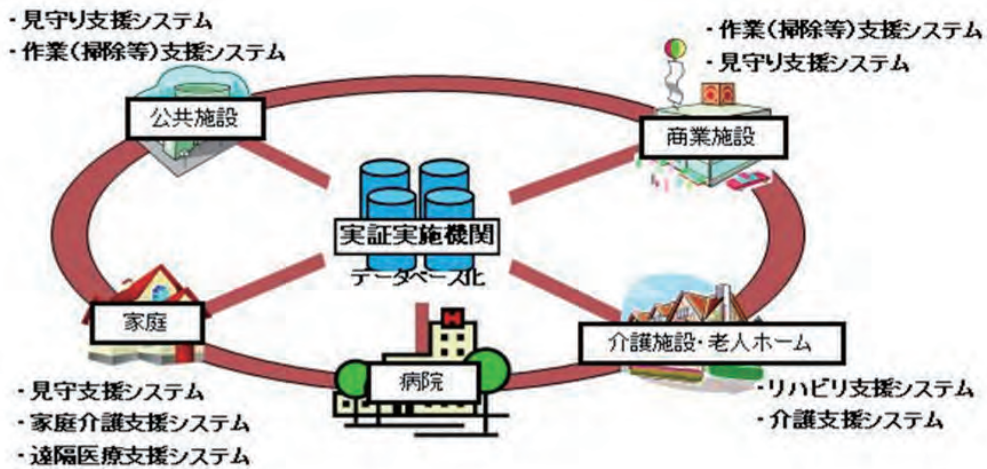
図4-22　「ロボット介護機器開発・導入促進事業」と重点分野

（出典：経済産業省）

（図4-22）の「ロボット介護機器開発・導入促進事業」は、重点分野のロボット介護機器の開発・実用化を促進するため、製品化の意思を持つ企業等への「開発補助」と、重点分野のロボット介護機器の実用化に不可欠となる実証プロトコル確立のための研究や、機能や部品等のモジュール化や標準化の「委託研究」を実施している。さらに本事業と並行して、経済産業省、厚生労働省、NEDO、（公財）テクノエイド協会が合同で「ロボット介護機器開発パートナーシップ（事務局：NEDO）」を組織しており[4]、同パートナーシップを通じて、介護機器の利用者・介護現場等のニーズの把握や機器メーカとのマッチングを図るとともに、行政からの開発に資する情報提供や参加企業等の声を集めてロボット介護機器の開発・実用化のための施策に反映することなどによって、課題解決先進国とも言われる我が国として、超高齢社会における介護者の自立促進や介護従事者の負担軽減、ロボット介護機器に係る新たな市場の創出や産業競争力の強化等を目指している。

A）環境・医療分野の国際研究開発・実証プロジェクト／生活支援システムの国際研究開発・実証事業

また、経済産業省とNEDOでは、高齢化や生活水準の向上に伴う健康志向の高まりは世界的な趨勢でもあり、今後、医療、介護、健康、福祉等の生活支援関連産業の高い成長が期待されるとの認識のもと、我が国企業が強みを有するロボット技術を中心とした研究開発・実証を、海外の現場のニーズを反映しつつ主に相手国にて実施し、相手国から我が国技術の有効性等の理解を得ることにより、我が国の当該分野における技術水準の向上に加え、海外展開や市場化の促進等を図ることを目的として、「環境・医療分野の国際研究開発・実証プロジェクト」（平成24年度～平成27年度、図4-23）を実施している。

図4-23　環境・医療分野の国際研究開発・実証プロジェクト／生活支援システムの国際研究開発・実証事業

（出典：経済産業省）

この事業の一環として、経済産業省とNEDOは、CYBERDYNE（株）の「ロボットスーツHAL®」を利用して、脊髄損傷や脳卒中など脳・神経・筋系の患者を対象とした研究開発と実証試験をドイツのノルトライン＝ヴェストファーレン州と協力して進めている。また、「デンマークにおける生活支援ロボットを活用した介護サービス提供に係る国際研究開発及び実証事業」の実施検討も進めており、我が国が得意とするサービスロボットに係る技術とそれをベースとした木目細かいソリューションサービスをパッケージさせた海外における新たな用途展開、利用効果の検証、国際的な市場開拓や貢献などが期待される。

（3）その他の事業

笹子トンネル天井板落下事故（平成24年12月）等、近年の社会インフラの老朽化と保守管理、技術者の高齢化と技能伝承などの社会問題や、東日本大震災と原子力発電所の事故等を通じて一層高まった安全・安心でレジリエントな社会の構築を求める国民的な意識が強まる中で、「科学技術イノベーション総合戦略」（平成25年6月閣議決定）や「日本再興戦略」（平成25年6月閣議決定）などを踏まえて、国土交通省と経済産業省が合同で「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」を設置し、NEDO、独立行政法人産業技術総合研究所（AIST）、独立行政法人土木研究所とともに、「維持管理・災害対応（調査）・災害対応（施工）」の3つの重要な場面におけるロボットについて、その開発・導入分野を明確化するなど実用化に向けた方策の検討を進めるとともに、経済産業省及び国土交通省が「社会インフラ用ロボット開発・導入重点分野」を策定している[5]。

文部科学省の施策としては、科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金／科学研究費補助金）による競争的研究資金や、「大学間連携共同教育推進事業」などの施策を通じたロボットの研究があり、総務省の情報通信関連の取組として、「ライフサポート型ロボット技術に関する研究開発（平成21年度～平成24年度）」を進めてきたほか、「脳の仕組みを活かしたイノ

ベーション創成型研究開発（平成23年度〜平成26年度）」や「災害対応ロボット・機器向け通信システムの技術的条件」（諮問第2034号）等がある。

4.3.2. ロボット化産業とソリューションサービスビジネスのための社会的制度

ロボット技術、ひいてはロボットそのものが、製品、インフラ、サービス、生活シーンや環境などに組み込まれ、私たちの社会に身近な存在になった場合、それらがなかった環境とは異なる様々な課題が顕在化することが予想される。そして、これらの課題を克服し、社会を住みやすく、人類にとってより良い環境に導くべく、私たちは社会的制度（法令・条約、専門資格、標準・規格、保険、倫理審査、表彰制度等）を整備することで、技術が社会にもたらす負の影響とのバランスを保っているといえる（図4-24）。

ロボットやロボット技術を用いてソリューションサービスビジネスを展開したり、生活や社会そのもののロボット化、情報・知能サービス化したりする場合にも、同様に様々な社会的制度の中でそれらを展開することが必要となる。また、ロボット技術が発展し、その社会実装が進みはじめた今日、これまでは必要なかった新たな社会的制度が必要となることも考えられることから、私たちは、遠くない将来の問題としてロボットやロボット技術と社会的制度の在り方や将来像についても考え直す時期に来ているといえる。

以下に、ロボットやロボット技術と関連する社会的制度について概説する。

第4章

（1）主な社会的制度

ロボットやロボット技術と関連する社会的制度を分類すると、以下のとおりとなる[6]。

①法令等関係

a. 個別技術に対応した法令等を整備することによって社会を維持する制度（例：自動車の自動運転と道路交通法や道路運送車両法、情報技術と不正アクセス禁止法や個人情報保護法、医療技術と薬事法、高度な技術を扱う専門的な資格制度、認証など）

b. 消費者等を守る観点から法令等を整備することによって社会を維持する制度（例：製造物責任法〔PL法〕、電気用品安全法、消費生活用製品安全法、家庭用品品質表示法、消費者契約法等に加えて、製品の複雑化や無秩序化、不公正性等を回避し、消費者の利益を確保するための標準やその認証など）

②安全保障の観点から必要とされる法令や条約等

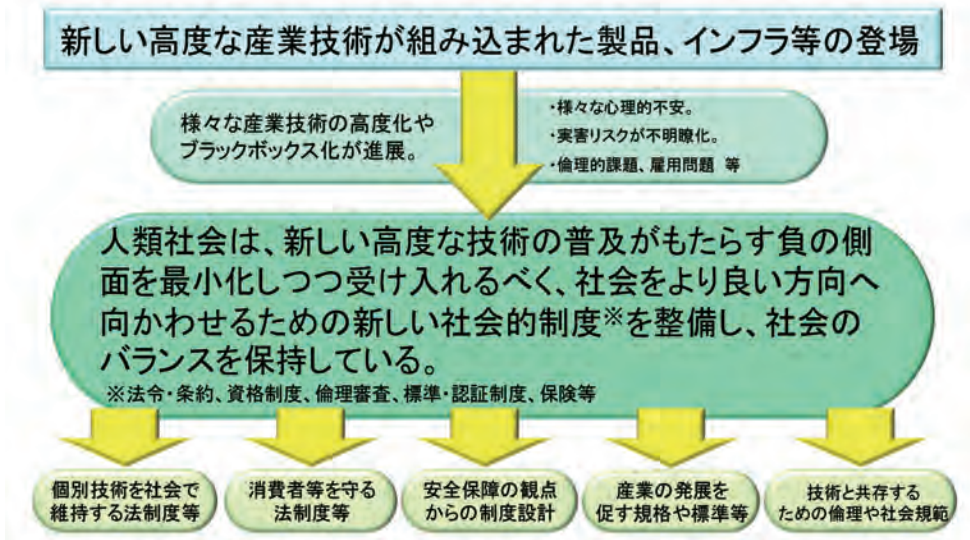
（例：ワッセナー・アレンジメント、武器輸出三原則等、外国為替及び外国貿易法など）

③産業の健全な発展を促す規格や標準

（例：対人安全性、各種の機能や試験方法、技術の種類や分類、インタフェース等に関する規格）

④人間らしく技術と共存していく倫理や社会規範

（ロボットやロボット技術がもたらす事故、損害等に関する責任や影響、普及がもたらす雇用の問題やモラルハザード、全自動化された社会が人間にもたらす影響、ロボットが限りなく生物や器官等に近い機能を持つようになった場合のロボットとの向き合い方など）

図4-24　産業技術の普及と社会的制度等

（出典：NEDO作成）

（２）主な関係法令

「ロボット」と聞いて、読者の方々は何を思い浮かべるだろうか。アニメのヒーロー、映画に出てくる侵略者、細かい作業を黙々と高速でこなす産業用ロボット、人が近づけない事故や災害の現場、深海、宇宙空間などで働く作業機械など、人によって大きく異なることだろう。サービスロボットに関わる法律を考える場合、その特徴として、いわゆる「ロボット」に対する概念的理解が統一されておらず、ロボットは極めて社会的に幅広い意味を有することがあげられ、一般市民としての老若男女、研究者や技術者、国によっても「ロボット」に対するイメージは異なっている。このことが、いわゆるロボットと呼ばれるもの全体に対する包括的な法的定義を厳密に規定することを困難にしている原因といえる。そして当然、ロボットやロボット技術を社会に導入、実装しようとする場合、まずは他の技術と同様にそのロボット等が関連するであろうあらゆる既存の法令等に適合することが要求される。さらにその法令等が、本来は自由であるはずの自由経済主義の国家において、技術水準の進歩や現実的な社会経済情勢、善良な国民の生活、既存の法律等に照らしてそぐわない、またはそぐわなくなるであろう、ひいては国益等にもそぐわない、との解釈が認識しうる場合に、法律の改正や特区の認定、新たな法律の制定などが求められることになる。

ここでは、近年普及が求められているいくつかのロボット技術に関連する法令等を例示的にあげつつ、その関連性についての一般論を述べていくが、厳密な法律解釈や判例等は、専門の弁護士や監督官庁、最終的には当然ながら司法にその判断を委ねることが必要である。

A）法令関係

a）個別技術に対応した法令等を整備することによって社会を維持する制度

イ）自動車の自動運転と道路交通法や道路運送車両法等との関係について

道路交通法（昭和35年公布）では、「自動車」の定義として、「原動機を用い、かつ、レールまたは架線によらないで運転する車であつて」と規定（第2条第九号）されており、「運転」の定義として、「道路において、車両（略）をその本来の用い方に従つて用いること」と規定（第2条第十七号）されている。また、よく郊外の公道でも歩行補助車（電動車いす）を見かけるが、これは、道交法施行規則第1条により6km/hを超えないものとなっている。道路運送車両法（昭和26年公布）によると、「自動車」の定義として、「原動機により陸上を移動させることを目的として製作した用具で軌条若しくは架線を用いないもの（略）であつて、（略）原動機付自転車以外のもの」と規定（第2条第2項）されている。これらのことから、一般的には、いわゆるレールなどによって走行の位置や方向等が決められておらず、移動のための車輪を有するものと想像されるが、ここで、この話をロボットに置き換えた場合、陸上用のホバークラフト型のロボットや低地飛行するロボットについて、これらの法律上はどの様に解釈されるのかという問題が生じる。また、「運転」については、道路交通法では、「道路において、車両（略）をその本来の用い方に従つて用いること」と規定（第2条第十七号）され、「車両等の運転者は、（略）ハンドル、ブレーキ（略）を確実に操作し、（略）運転しなければならない」と規定（第70条、安全運転の義務）されていることから、運転者が乗車しない状態の遠隔操作、近くの車両や道路施設等からの制御、車両等自身による自律的な自動運転等はどの様に考えるべきかという疑問が生じることになる。

ロ）飛行ロボットと航空法等

航空法（昭和27年7月公布）によると、「航空機」とは、「人が乗つて（略）航空の用に供することができる機器」と規定（第2条）されていることから、同法はそもそも、「人が乗る」ことを前提とした法規定になっている。つまり、現行の航空法において航空機は有人飛行を想定したものであり（逆に言えば、無人操縦であっても人が乗れるものは航空機になる）、無人の飛行体に係る規定はなく、無人飛行ロボットのビジネス運用には、後述するような各種関係法令に従うことが求められる状況である。さらに航空法には、操縦者の見張り義務（第71条の2）によって、「（略）航空機の操縦を行なつている者は、航空機の航行中は、（略）他の航空機その他の物件と衝突しないように見張りをしなければならない」とされているほか、航空機製造事業法（昭和27年公布）上の「航空機」の定義（第2条第1項）に係る同法施行令第1条には、「（略）航空の用に供することができる機械器具は、（略）"**構造上人が乗ることができないもの**"（注：無人機のこと）のうち、総重量が**150kg以上のものとする**」という「150kg規定」も存在している（平成26年3月に航空機製造事業法施行令の対象が100kg以上から150kg以上に改正されたことにより、農業（農薬散布、播種）での利用拡大や観測機等の無人機開発の促進が期待されている。

第4章

また、無線で飛行することを想定すれば、当然、「電波法」との関係にも注意が必要となる。電波法では、「無線局を開設しようとする者は、総務大臣の免許を受けなければならない。ただし、（略）発射する電波が著しく微弱な無線局で総務省令で定めるもの（略）についてはこの限りでない」（第4条、無線局の開設）と規定しつつ、電波法施行規則で「免許を要しない無線局」により「電波が著しく微弱な無線局」として電界強度（電波の強さ）が「当該無線局の無線設備から（略）メートルの距離において、（略）以下であるもの」と制限している（第6条、免許を要しない無線局）。

電波法に関連する関係法令（**表4-1**）、規定は広範かつ重層的であり、法条文のみから具体的な事例や規制内容を理解することは初心者には困難な面もあるが、規制内容や根拠規定、条文構成等について身近な具体例を交えて分かりやすく解説している資料が総務省ウェブサイトや（一社）電波産業会等から多々公表されているので必要のある方は参照されたい。

なお、本項に関連する疑問として、警備や監視、農薬散布、物資輸送、架線工事、撮影・観

表4-1　電波に関する主な法令

法律	電波法
政令	無線従事者操作範囲令、電波法関係手数料令
省令	電波法施行規則、無線局免許手続規則、無線設備規則、無線従事者規則、無線局運用規則、無線局（基幹放送局を除く。）の開設の根本的基準など

測、各種施設の点検や災害対応等に用いることができる産業用の無人飛行ロボット（UAV：Unmanned Aerial Vehicle）についての法的な取扱いはどの様に考えるべきであろうか、という点に触れておきたい。当然、飛行場の周辺等では飛行可能な区域がおのずと限られ、さらに電波法への対応も求められることはいうまでもない。衝突や落下に伴う安全性の問題やプライバシー、騒音等の問題を考えれば、公道上（上空）を無制限に飛行させてよいとは考えられないだろう（各自治体にはこれらの行為に係る迷惑防止条例がある場合もある）。

「輸送の安全の確保」や「利用者の利便の増進」、「航空の発達」（第1条）を図るための航空法がある一方で、我が国には、研究面では例えば、セコム（株）の自律型小型飛行監視ロボットやJAXAの自動操縦型無人飛行ロボット、千葉大学野波健蔵教授らによるマルチローターヘリコプターなど、ロボット技術としての機能安全技術、自動制御技術、認識技術等の多くの技術を有している（参考情報であるが、例えば、北海道大樹町のウェブサイトでは、同町の取組や同町が受け入れている各種の航空宇宙関連技術の屋外実験が紹介されており、この北海道の一自治体のウェブサイトから大学等の研究や国家レベルでの最新の取組の一端が垣間見えるので、大変興味深い。）。統合したシステムとしての無人飛行機関連ビジネスの発展には、さらなる関係省庁、業界等による検討が必要であり、実際の運用に際しても、使用目的や用途、使用場所によって無人飛行機の種類やサイズ、近隣への影響等が異なり、安全に使えて便利になるための信頼性も必要となることから、今までにない法規制、安全性等に係る課題の検証が必

要となるであろう。日本産業用無人航空機協会（JUAV）では、正会員に対する機体性能確認等の安全基準に記載されている各種検査を行っている[7]。

b）消費者等を守る観点から法令等を整備することによって社会を維持する制度

イ）製造物責任法（PL法）

PL法は、「（略）被害者の保護を図り、もって国民生活の安定向上と国民経済の健全な発展に寄与すること」（第1条）を目的とした法律であり、製造物に「欠陥」があるときに，製造者に損害賠償義務を負わせる法律である。メーカにとって、この「欠陥」には、「設計上」「製造上」「指示警告上」の欠陥が考えられるが、これらの概念はロボット等を社会に実装しようとする場合にも当然考慮されるべきこととなる。グローバルな経済と競争環境が浸透し、世界各国での調達・製造・販売や、産業エコシステムとも言われる、関係する企業等との国境を越えた最適かつ柔軟な連携が求められる中で、ますます重要になる法律であろう。メーカ側の立場からすると、上記の「欠陥」に係る3つの概念に対応すべく、設計・製造の両段階において製品全体の安全を図り、それを正しく使用する場合や、想定される誤った使用方法に対する注意を促し、欠陥が無いことの証明が求められることになる。

なお、我が国では比較的注目され、浸透しているPL法だが、その訴訟件数は米国等と比較して決して多くないとのデータがある[8]（「ロボペディア」というウェブサイトにおいて専門家が解説している資料〔講演スライド〕が掲載されている）。技術や品質管理面での対応が整っていたとしても、過度にPL法を恐れるあまり市場投入に躊躇すれば、ビジネスチャンスを失うことにもなりかねない。

B）安全保障の観点から必要とされる法令や条約等

交通・物流や情報通信のネットワークが世界中で発達し、情報やデータ、物品が素早く世界中を移動する一方で、国際的な紛争やテロが頻発する国際社会において、兵器等の拡散、安全を脅かす物品の流通を国際的に規定している枠組みが存在する。外国為替及び外国貿易法による輸出規制、ワッセナー・アレンジメント（Wassenaar Arrangement：WA）、原子力供給国グループ（NSG）、ミサイル技術管理レジーム（MTCR）、武器輸出三原則等が該当する。特に、外国為替及び外国貿易法による輸出規制については、国境を越えて研究開発やビジネスを展開する研究者や技術者、時には一般市民にも関係するため、経済産業省はウェブサイト等を通じて詳しい資料を提供している[9]。また、外為法や関税法等に基づく輸入規制、外為法以外にも、日本国内に持ち込まれるものであれば各種の国内法に適合する必要がある。さらに輸出元（海外）から輸出する際にはその国の法律等に従うことはもちろんのこと、米国の「再輸出規制（EAR）」を考慮する必要が出てくる場合もあるので注意が必要である。

C）安全安心と産業の健全な発展を促す規格や標準（例：対人安全性に関する規格）

ロボットの使用者や管理者に一定の技能や知識、経験が見込まれ、使用する場所や方法、管理等に関する規制やルール、ヒヤリハット情報の収集等について、組織的な対応が期待できる産業用ロボットと異なり、一般の家庭での使用が想定されるサービスロボットは、様々な使用者、使用環境、ヒヤリハットの状況等が考えられ、そもそも人と日常的に近接して稼働することが想定されることから、使用者等に対する安全技術に関する水準の向上や知見の蓄積、安全に関わる情報の共有化や標準化が、国内外の使用者を対象とした安全・安心と産業の健全な発展、または我が国の産業競争力の強化にとって特に重要となる。これまでに無い新たな、かつ、高度な知見の蓄積とその知見を活用した規格化・標準化、さらにはそれらの知見の積極的な国際的な標準化を図ることによる国境を越えた安全・安心の実現やグローバルビジネスの活性化等への貢献が求められている。高い水準で安全性を求める我が国の国民性が、逆に我が国で蓄積された安全性に関する技術的な知見等をベースとした世界的な安全・安心社会の実現や、単なるロボットサービスビジネスではなく、安全性を担保する制度と組み合わせた市場展開など、グローバルなビジネス展開の活性化等にも役立つ可能性もある。

我が国では、ロボット技術の急速な発達により、近い将来に人間とロボットが共存・協調する状況を見据えて、「次世代ロボットの安全性確保ガイドライン」（平成19年7月、経済産業省）が制定された（ロボット法やロボット保険などのロボットに係る包括的な社会的制度がここまではあまり存在していなかった点で先駆的な例といえる）。このロボット安全技術を高めていく動きは、経済産業省を主体とした「ロボット産業政策研究会」の報告書（平成21年3月）に受け継がれており、さらにはNEDOの「生活支援ロボット実用化プロジェクト」（平成21年度～平成25年度）や平成22年度の「生活支援ロボット安全検証センター」の設立、最近では「科学技術イノベーション総合戦略」における「生活支援ロボットの安全に関する認証制度整備と国際標準化（2015年）」、「ロボット介護機器開発・導入促進事業」などにも受け継がれている。さらに「サービスロボット」に係る安全性に関する規格として、「Personal care robot」の国際安全規格「ISO 13482：Robots and robotic devices - Safety requirements - Non-medical personal care robot」が発行（平成26年2月）されている。これらの動きのベースには、上記の「次世代ロボットの安全性確保ガイドライン」においてまとめられた様々な提言等に加えて、NEDOの「生活支援ロボット実用化プロジェクト」を活動母体として産学官から結集した我が国最先端の専門家チームによるISO/TC184/SC2/WG7への積極的かつ継続的な提案と議論への参加が行われた（日本がドイツとともに先導役を果たした）ことが貢献している。さらに正式な国際標準（IS）化の動きを先取りする認証に係る取組の例として、NEDO「生活支援ロボット実用化プロジェクト」の成果を用いてCYBERDYNE（株）が、（一財）日本品質保証機構（JQA）から「ロボットスーツHAL®福祉用」に対する国際安全規格ISO/DIS13482（DISとは国際標準ISのドラフトの意味）に基づく世界初の認証と認証書の発行（平成25年2月）や[10]、欧州域内で医療機器として流通・販売できる「CEマーキング」の取得を、第三者認証

第4章

機関テュフ ラインランド（TÜV Rheinland LGA Products GmbH：ドイツケルン市、日本支社：横浜市）からいち早く受け[11]、さらにISO13482の正式な発行（2014年2月1日）以降も、NEDO生活支援ロボット実用化プロジェクトの成果を用いて、パナソニック（株）のフルリクライニング車いす付きベッド「リショーネ®」と、（株）ダイフクの配送センター内高速ビークル（無人搬送車）の安全技術「エリア管理システム」が、ISO13482の認証を世界で初めて取得[12]するという一連の成果につながっている。人と寄り添って機能するサービスロボットの普及を見据え、その安全技術にいち早く着目し、開発と普及のための産学官の叡知の結集による長期的で一体感のある政策的な取組が具体的に目に見える成果として結実、奏効した例と言えよう。

～CE（欧州適合）マーキングについて～

CEマーキングとは、欧州連合（EU）地域の市場に流通される指定製品（医療機器など）に貼付を義務付けられる基準適合マークのことで、「EU指令」の必須安全要求事項（ESRs：Essential Safety Requirements）に適合したことを示す。

テクノロジーが世界中で流通するには、国際規格を満たす必要がある。我々は、2009年にNEDOの「生活支援ロボット実用化プロジェクト」で、中核メンバーとしてこのプロジェクトを推進してきた。また、国際標準化機構（ISO）のメディカルロボットとパーソナルケアロボットの全ての規格策定会議にはCYBERDYNE社に加え筑波大学のメンバーも参加し、重要な役割を担ってきた。パーソナルケアロボットでは、ISO/DIS 13482の最終バージョンが出来上がり、「HAL福祉用」は世界で初めてパーソナルケアロボットの国際認証（ISO/DIS13482）を取得した（2013年2月）。メディカルロボットでは、まず、医療機器として認証されるためには、医療機器をつくることができる医療機器品質マネジメントの認証が必要である。2013年1月18日、革新的ロボット医療機器「HAL」に対してUL（TÜV Rheinlandと双璧をなす世界最大級の認証機関）から、医療機器の国際品質マネジメントシステム規格「ISO 13485」をCYBERDYNE社が取得した。

さらに、医療機器を製造し、ヨーロッパのEU域内へ輸出するには、EU全体の法規制である「EU指令」の要求事項に適合させ、製品にCEマーキングを表示することが必須である。CEマーキングは、第三者機関による認証と、自己適合宣言で良い場合の

２種類があり、単純な製品は自己適合宣言で良いが、「HAL医療用」のようにより高度な医療機器の場合は第三者による認証が必要となる。また、「EU指令」は分野毎に22種類の指令があり、「HAL医療用」の場合は医療機器指令（MDD：Medical Device Directive）の他、複数の指令に適合される必要があった。CEマーキングの取得には、製品開発、非臨床試験、臨床試験の精緻なデータがセットで必要である。このようなデータを基に2013年８月５日に世界最大級の認証機関　独TÜV Rheinland（テュフ ラインランド）社から第三者認証を得ると同時に、CEマーキングの取得宣言を行った。CEマーキングの４ケタの数字（「HAL医療用」はCE0197）は、「HAL医療用」が医療機器であることを示している。これを示すことで、ヨーロッパ全域で、「HAL医療用」の販売流通が可能となった。欧州で医療機器を市場に流通させるには、医療機器のCEマーキングの取得が不可欠であるが、パーソナルケアロボットに関しては、現在、医療機器のCEマーキングの取得は義務付けられていない。通常の製品と同様のCEマーキングで対応することになる。今後については、様々な意見があり、2013年現在では最終確定に至ってはいない。（2014年の早い段階で最終確定されるだろう。）

山海 嘉之（筑波大学大学院　システム情報工学研究科　サイバニクス研究センター／CYBERDYNE株式会社）

第４章

D）人間らしく技術と共存していく倫理や社会規範

サービスロボットに関わる倫理問題や私たちの生活に不可欠な社会規範とロボットとの整合の在り方については、これまで様々な形態、機能等を有するサービスロボットが登場し、私たちの生活や社会に密接に関わりを持つことが想定される度に議論されてきた「古くて新しい」課題である。ここでは、それらの詳細な解説や学術的研究については省くこととし、サービスロボットの普及に際して、特に産業界（研究者、技術者、企業等）が直面すると想定される課題に関して、簡単な事例とともに概説する。

サービスロボットが私たちの日常生活に組み込まれ、それが普及した場合、様々な課題が発生することが予想される。例えば、

- ロボットがもたらす事故や損害等に関する責任所在の問題
- ロボットの普及がもたらす雇用の問題やモラルハザード（雇用喪失につながる問題、教育や介護等をロボットに任せたままにしておく問題等）
- 自動化が進んだ社会が人間にもたらす影響の問題（賃金を得る機会を生まない自動社会の問題、人間自身ができることが少ない社会における生きがいや幸福感の問題、機械が人間をコントロールする問題、自動車や食事補助、兵器などがロボット化された場合に自律化されるべき範囲の考え等）

- ロボットが人間、他の生物や器官等に非常に近い機能を持つようになった場合の人間とロボットとの向き合い方の問題（生物とロボットの境界線の問題等）

などが考えられる。

1950年に登場したロボット工学の三原則（図4-25）[13]を聞いたことがある方も多いと思う。この原則は、ロボットは人間にとって常に安全な存在であって、かつ、人間がロボットよりも常に優位に立つべきであること（人間の優位性）を示している。ところが、上述したようなサービスロボットの普及時に考えられる様々な問題を考慮した場合、これらはロボットがもたらす人間としての「社会規範」や「幸福」、「人間らしさ」等の問題と直結しており、「安全性」や「人間の優位性」という「人間と機械の主従関係」の概念を超えて、最早、技術の進歩と普及にともない顕在化するであろう、「人間社会における人間らしい幸福な生活や人生とロボットとの適切な共存の問題」、即ち「人間“性”の優位性」も考慮すべきであることに気づくだろう。

図4-25　ロボット工学の三原則とその意味

1. A robot may not injure a human, or allow a human to be injured.
第1条：ロボットは人間に危害を加えてはならない。また人間が危害を受けるのを看過していてもいけない。

2. A robot must follow any order given by a human that doesn't conflict with the First Law.
第2条：ロボットは人間の命令に従わなくてはならない。ただし第1条に反する命令はこの限りではない。

3. A robot must protect itself unless that would conflict with the First or Second Laws.
第3条：ロボットは自らの存在を護（まも）らなくてはならない。ただし、それは第1条、第2条に違反しない場合に限る。

人の役に立ち、害を与えない「安全」に加え、「人間の優位性」も明確化。
（最近の技術進歩に照らし、これで十分でしょうか？）

※ アイザック・アシモフ（Isaac Asimov, 1920年～1992年）
アメリカの作家、生化学者。
同三原則は「われはロボット（I, Robot）」（1950年刊行）で初めて登場。
その後のロボット工学研究にも大きく影響。

（出典：NEDO作成）

ロボットが人工知能や自律機能等を使って人に何らかの「はたらきかけ」を行う場合も、機械を「人の代替」「人に寄り添うパートナー」「人の能力を拡大、強化、創造するシステム」「安心・安全、快適・便利で愉快な社会や暮らしに変えていくシステム」として使う意思の本来的な持ち主は人間であるはずであり、機械は「ツール」であることに変わりは無い。「機械を使う」のが人間である以上、少なくとも人間らしい社会においては、法律や社会的道理、人間（や自然）に対する愛情や尊厳・敬意、理性、自らのアイデンティティに関連する民族・宗教的慣習等を守って「機械を使う（コントロールする）」ことが求められるであろう（極めて当たり前のことではある）。仮に、新しい技術の出現に対して、既存の適切な社会的制度が無い場合は、

この「主従関係」に則った、人と機械が「主従関係」を間違わないよう、新たな制度作りや環境整備が必要となるはずである。

サービスロボットのビジネスや産業の活性化を目指し、その国際競争が激化する今日、改めて「ロボット倫理」を語る時期にあると述べておきたい。というのも、科学技術立国・ロボット大国を標榜する我が国は、技術面だけでなく、サービスロボットのビジネス展開においても、「社会的制度の整備」「人間性、徳、倫理観」でも世界を先導すべきであり、そして、技術が発展していくにともない、それが社会で正しく使われるよう、研究者、技術者、企業、ユーザ等が具備すべき「高い意識」の涵養とのバランスを取っていくことが求められる。ビジネス展開においても、日本の社会的な制度設計、環境整備の取組の経験やノウハウを使って「ロボット技術と社会的制度の構築（ものごとづくり）」を「パッケージ」で海外展開できるはずである。人間性の領域に機械の機能が近づき、人間と機械・情報の主従関係が仮に逆転してしまった社会によって、科学技術や生活水準のみが向上しても、一方で豊かな人間らしさや人間どうしのつながりが社会から失われれば、人々の心は乱れ、ひいては国が廃れることにならないか。「人が人らしく豊かに暮らせるために技術がある」という高い意識の涵養を伴わずに、技術が発展した姿からは、その様な荒廃した社会を容易に連想させられるため、ここで付記しておきたい。

（3）保険

サービスロボットには様々な種類や用途、機能があり、その関係者も使用者（一般の老若男女から専門の技術者）、サービス提供者、製造者など様々である。したがって、そのリスクの工程、発生状況等も多種多様であろう。さらにこの様な状況であればなおさら、当事者からは「どの様な内容の保険を手当すべきか分からない」という疑問が当然生じるだろう。

例えば、現状ではロボット全体を包括的に規制する「ロボット法」がなく、既存の各種関係法令に適合させることが必要となるのと同様に、「ロボット保険」のようなリスク全般を包括した保険は基本的に存在しない。しかし、各種のリスクを補償する既存の保険商品（動産総合保険、施設賠償責任保険等）の組み合わせによってリスクに対応することが可能となっている（原則として個別の商品設計となる）。ただし、ロボットの特徴・管理方法・使用方法等により当然リスクも異なることから、保険引受の可否や保険条件、保険料等が大きく異なるのが通常である。ロボットに携わる当事者は、加入される保険の内容をよく理解した上で、想定される事故やリスクを踏まえて、適切な保険を手配することが必要と考えられる。

サービスロボットに関わる保険商品については、「ロボペディア」というウェブサイトにおいて専門家が解説している資料（講演スライド）が掲載されているので [14]、関心のある方は参照されたい。

また、「NPO法人ロボティックス普及促進センター」（2011年1月設立）は、東京海上日動の損保代理店「ロボット保険サービス」として登録されており、同センターがこれまで蓄積してきた知見を用いて、ロボットのビジネス、試験、イベント等に関わる各種の損害保険などの提案を平成25年4月から行っている。ロボットビジネス推進協議会でも「アプリケーション別

既存保険商品の適用ガイドライン（平成21年）」、「広義のロボットに関わる保険商品の概要（平成19年）」、「ロボットに関わる保険商品（メニュー）指針（平成19年）」などを公開している。

（4）規格化・標準化

A）サービスロボットに係る規格化・標準化

日本工業標準調査会（JISC）のウェブサイトによれば、標準化とは、「自由に放置すれば、多様化、複雑化、無秩序化する事柄を少数化、単純化、秩序化すること」とし、経済・社会活動の利便性の確保（互換性の確保等）、生産の効率化（品種削減を通じての量産化等）、公正性の確保（消費者の利益の確保、取引の単純化等）、技術進歩の促進（新しい知識の創造や新技術の開発・普及の支援等）、安全や健康の保持、環境の保全等の観点から「規格」として「統一」または「単純化」が行われている[15]。

特に研究開発の場合は、各社が研究開発を自社の方針とリスク負担に応じて独自に実施することは法令等に反しない限り自由であるが、各社が同様の研究をバラバラに実施していたのでは、我が国全体の視点からすると、我が国の限られた開発資源を有効に活用しつつ、早期に技術水準を向上させる点では非効率となる場合がある。その様な場合にこそ「規格化・標準化」手段が有効となる。

サービスロボットについては、まずJIS（日本工業規格）において、JIS B0187（サービスロボット－用語）として用語の分類とその定義が行われていることについて触れておきたい。具体例として幾つかをピックアップして（表4-2）のとおり掲載しておく。

さらに、サービスロボットの安全性や安全基準に関する取組についてはすでに触れているため、ここでは、我が国の研究開発プロジェクトとしての規格化・標準化の取組に係る政策的な考え方や例を下記のとおり紹介したい。

表4-2　JIS B0187（サービスロボット－用語）

《形態》

番号	用語	定義
2110	人間形ロボット	人間に似た外観形状と機能とをもつロボット
2120	2 足歩行ロボット	2本の足で移動するロボット
2130	顔ロボット	目、耳、口などを備え、人間の顔の表情に似た変化を表現できるロボット

その他に、2140動物形ロボット、2150昆虫形ロボット、2160マイクロロボット、2170群ロボット、2180 ユビキタスロボットがある。

《用途》

番号	用語	定義
2210	ホームロボット	一般家庭で使用するロボット
2220	福祉ロボット	福祉分野で使用するロボット
2230	医療ロボット	様々な医療行為を支援するロボット
2240	アミューズメントロボット（エンタテイメントロボット）	人間を楽しませるロボット

その他に、2250メンテナンスロボット、2260災害対応ロボットがある。

B）研究開発段階からの標準化の取組

NEDO等が推進する様々な研究開発国家プロジェクト等の実施内容の中には、標準化を推進するための取組がすでに組み込まれており、研究開発と標準化の取組が一体的に推進されているような制度設計になっている。これを「研究開発プロジェクトへの標準化のビルトイン」と呼んでおり、国家プロジェクトを通じて得られた様々な知見、成果を速やかに市場へ導入し、我が国産業の競争力強化を図る観点から行われているものである。研究開発が終了し、その成果が明らかになった段階で標準化を検討するのではなく、研究開発段階から標準化とその国際貢献の可能性を常に念頭に置きながら開発を進めることで、技術立国たる我が国の優位性を活かしつつ、諸外国に先んじて標準化に取り組むことを目指した政策である。経済産業省とNEDOが策定している研究開発に関するロードマップ（「技術戦略マップ」）の中には、国際標準化に関する戦略についても記載することによって、技術の発展を見通し、その将来像や技術普及シナリオの在り方を描く段階から、標準化の取組を想定しておくとともに、個別の研究開発プロジェクトの実施の際にもプロジェクト基本計画の中に標準化への取組に係る計画等について明記しておき、さらに、プロジェクトの中間評価・事後評価の段階でも標準化の取組状況について評価を実施することで、着実な成果が得られるように制度設計が行われている。この様な取組はすでに様々な成果も生み出しており、我が国の基準認証政策について、奏効した例として経済産業省が発行するパンフレットで詳細に紹介されている。このパンフレットは同省のウェブサイトにも掲載されているので、同省の基準認証政策全体の取組を含めて参照してみては如何だろうか[16]。

なお、我が国において、サービスロボットの安全性に関する試験方法、安全基準、安全認証等の制度設計に関する研究、介護ロボット（ロボット介護機器）に関する機能や部品等のモジュール化、標準化等に関する研究が行われているが、これらの各種試験、試験データに基づく基準作成等の中心的な役割を果たしているのが、「生活支援ロボット安全検証センター」（つくば市、**図4-26**）である[17]。ここで同センターを紹介しておきたい。

このセンターは、2010年に設立されており、サービスロボットの安全性等に関して、(1) 走行試験関連エリア、(2) 対人試験関連エリア、(3) 強度試験関連エリア、(4) EMC（Electro-Magnetic Compatibility）試験関連エリアにおいて、機械、電気、機能安全に関する試験等を行っている。同センターの特筆すべき点は、試験機関として国家プロジェクトの活動場所であるとともに、日本のサービスロボットの認証のしくみの中心的拠点となる役割も果たしている点である。また、試験機関として国プロジェクトを通じた安全性データや技術の蓄積、標準化に必要なデータの取得や検討に加えて、プロフェッショナルの育成、安全なロボットの普及、「ロボットの街つくば」への貢献、安全性に関する社会的な認知度の向上、国際標準化の展開や国際貢献や国際交流・連携の拠点等、我が国ロボット産業の発展と国際的な貢献に向けて重要、かつ、様々な役割を担っており、サービスロボットの安全性や機能等に関する「Center of Excellence」ともいえる重要な存在となっている。

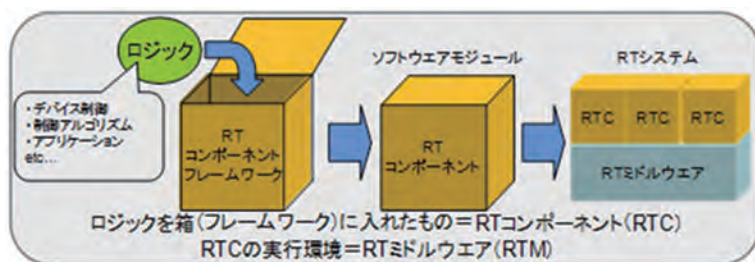
同センターのウェブサイトでは、質問、取材申し込み、各種試験等に関するお問い合わせの窓口も設けられているので、ご関心のある方はアクセスしてみては如何だろうか。

図4-26　生活支援ロボット安全検証センターの外観

（出典：NEDOウェブサイトから）

C）ロボット用ミドルウェアRTMとは

RTMとは、ロボット機能要素（RT機能要素）のソフトウェアモジュールを複数組み合わせてロボットシステム（RTシステム）を構築するソフトウェアプラットフォーム（ミドルウェア）であり、我が国（特にAIST、NEDO等）がロボット関連の技術開発とともに開発と公開を進めてきた[18]。また、RTコンポーネント（RTC）とは、RT機能要素をモジュール化したものであり、他のRTCとデータをやり取りしたり、通信したりする為のインタフェースがある。RTMとRTCの関係を（図4-27）に示す。RTMは、CORBAやUMLの規格化を行うコンピュータ業界の非営利の標準化コンソーシアムである国際標準化団体OMG（Object Management Group）にて、「ロボット用ソフトウェアのモジュール化に関する標準仕様」としても採択されている。

図4-27　RTミドルウェアとRTコンポーネントの関係イメージ

一般的に商品開発サイクルの短い、電化製品（ロボットを含む）や情報端末では、決定まで何年も掛かる標準規格よりも、その時点で一般的な規格であるデファクトスタンダードの重みが大きいと言われている。この様な観点からは、RTMの国際標準規格は必要であるが、ロボットの普及に伴うデファクトスタンダード化と両輪で進めていく必要がある。特にRTMの国際標準化により、次のような効果が期待される。

- 規格が統一化され，Windows やLinux といったOS やC#、C++、Java、Python などのプログラミング言語に対する依存度が低くなる。これにより、様々なプラットフォームでの利用が容易となり、開発コストや期間の削減に繋がる。
- 分散処理により、ロバスト性及び信頼性の向上が期待される。
- ロボットの機能要素がモジュール化され、他のロボットへの再利用が容易となる。

（5）特区の事例と法規制の適用

A）コミュニティベースのサービスロボットシステムの共創

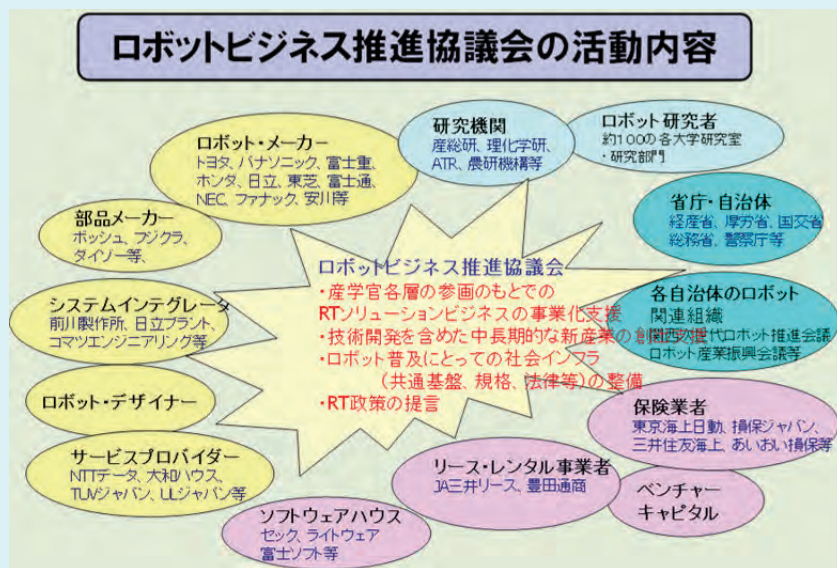
近年、ロボットサービスビジネスの実用化に向けて、地方自治体が、それぞれの地元に特有の資源（工業技術、人材、医療機関、特区、観光資源、伝統文化等）を活用して、コミュニティベースでサービスロボットシステムを共創する動きが盛んになってきた。

地方自治体等が地元産業の振興等を期して推進するこれらの取組は、愛知万博前後をピークとするロボットブームの際に活発化したが、日本経済が長期低迷してきた中で、東京の様な一部の都市だけでなく地方も併せて活性化し、日本全体を元気にするために、日本の優れたロボット技術を活用し、地域の特色に特区制度を組み合わせて地元産業の振興を図ったり、地域の課題や住民サービスに係るニーズを組み合わせて安全・安心な住民サービスを提供したりと、地域に根ざした地道な取組として継続する動きも見られる。各地で住民の高齢化や産業の空洞化・衰退が深刻化していることや、東日本大震災を契機とした安全・安心社会の実現を目指す国民的な機運が高まったことも影響していると思われる。

各地域における取組 [19] の中でも、「研究学園都市」、「ロボットの街」としても有名であり、ロボットの公道走行にも比較的早くから取り組んできた「つくば市」が象徴的な役割を担い、地域の様々な資源を活用しながら、地道な活動を意欲的、継続的に続けてきた。同市の他自治体や海外に与える貢献や影響は極めて大きく、同市を手本として特区を活用したロボット産業の活性化、町おこし的な取組を進める自治体が増えているなど、今後の動向が注目される。これらの「地域共創」の動きが、地域の特色を最大限に活かしながら各コミュニティベースで拡がり、全国の各地域から日本を元気にするロボットサービスビジネスとして定着することを期待したい。

〜ロボットビジネス推進協議会の活動状況について〜

2005年愛知万博においてサービスロボットの実用化に向けた実証実験が行われたが、国民のロボットやロボット技術（以下RTと称す）に対する期待は大きなものであった。また、少子高齢化、労働人口低減や国際競争力激化などが進展し、これらによって顕在化する様々な課題解消についてもRTに期待する状況になっている。このような中、産業、研究分野の壁を越えて、全てのロボット業界ステークホルダーが連携と相互理解を深め、実社会で役に立つRTを実現することを目的として2008年12月に設立されたのが「ロボットビジネス推進協議会（以下ビジ協と略す）」である。ビジ協は民間団体であり、いわゆるサービスロボット（人間と協調・共存し人間作業、生活をサポートするロボット〔次世代ロボットと称することもある〕＝製造用途以外のロボットを指す）の普及促進、新事業化推進に資する幅広い支援活動を行っている。

図表　ロボットビジネス推進協議会の活動内容

出典：ロボットビジネス推進協議会成果報告会ppt資料（2013.11.9）

ビジ協は4会員で構成されている。まず、普通会員であるが、これは設立趣旨に賛同した営利法人であり、総会での議決権を有する。会費は10万円／年である。準会員は、総会での議決権はない営利法人で、会費は5万円／年としている。また、会費無料で参

加できるのが学術会員と特別会員である。学術会員は大学、公的研究機関の有識者、また、特別会員は、自治体や特殊法人などの団体に所属されている方々である。これらの会員数は現在、普通会員54社、準会員13社、学術会員83機関、特別会員56機関であり総数206社・機関となっている。

ビジ協体制は、総会の下の幹事会、その下の3部会で構成されているが、具体的な活動は各部会に設けられたWG（ワーキンググループ＝ミッションを絞りそれにフォーカスして活動する）のメンバーを中心としている。また、学識経験者によるアドバイザグループのサポートが必要に応じて受けられる。（事務局は（一社）日本ロボット工業会）

「安全・規格検討部会」は、安全基準や安全検証手法の策定に向けた活動と安全性の認知主体とした社会意識の醸成活動を行っている。また、サービスロボット普及の障害となる規格、規制等の課題について検討を行い、所管関係者も交えて課題情報の共有化とその解決に向けた協議などを行っている。この部会は4つのWGで構成されている。生活支援プロジェクト対応WG、エレベータWG、通信WG、保険構築WGである。生活支援プロジェクト対応WGはNEDO開発プロジェクト「生活支援ロボット実用化プロジェクト」と連携しながら、例えば、プロジェクト参加者以外のメーカ要望や意見の聴取、反映やプロジェクト情報の共有や成果の普及などの支援活動を行っている。また、サブWGとして「安全普及SWG」を設けている。このSWGは主に「生活支援ロボット実用化プロジェクト」で開発されている安全技術の社会への啓蒙や普及などを行うことを目的に全国各地（福岡・神戸・大阪・名古屋・東京）で安全セミナーを開催している。エレベータWGはビル高層階へロボットの行動範囲を広げるために人間とロボットがエレベータを共用できるように、ルールつくりを目指して活動している。人とロボットがエレベータかご内で共存するためのガイドラインなどを整備し、現在は実証実験を行うため特区活用も視野に入れて検討を進めている。通信WGはロボットの無線通信環境を整備することを目標に活動を進めている。総務省のUHFホワイトバンド活用検討WGに参加し、特に防災ロボット関連の無線帯域確保に向けて取組を進めている。保険構築WGは、ロボット保険の商品化を目指して他WGとも交流をしながら仮想事例検討などを進めており、団体保険制度構築を目指している。

「ビジネス創出検討部会」はロボットビジネスの創出に向け、RTの普及、実装に向けた社会インフラ整備に係る活動を行っている。医療福祉WG、移動型ロボットWGについては課題洗い出しと解決に向けた方策検討などを行っている。特に移動型ロボットWGについては、軽車両専用通行帯設置の機運やパーソナルモビリティのガイドライン作成などの動きのある中で特区活用による実証実験が各地で行われており、その動向を注視している。復興支援とRT活用WGは東北大震災の避難地域などで、復興のためにRTを活用して被災された方々を助ける活動を進めており、地元に密着した支援を行っている。RTミドルウェアWGは講習会、サマーキャンプやコンテストなどを開催し

第4章

RTミドルウェア技術の普及に努めている。

「広報・事業企画検討部会」は広報事業企画WGを通じてマッチングイベントや展示会などへの出展を中心にサービスロボット技術の訴求、アピール活動を進めている。
次世代ロボットの普及に向け、ビジ協は2011年4月「声明」として以下3つを柱に、産学官関係者に呼びかけを行った。
提言①は「次世代ロボットの対人安全技術確立と基準・検証手法整備の確実な推進」である。
これについて活動実績としては、サービスロボットの安全基準確立と検証手法策定を目的としたNEDO「生活支援ロボット実用化プロジェクト」と連携し、プロジェクト情報の共有、成果の普及、安全技術の周知等を前述のとおり、生活支援プロジェクト対応WGと安全普及SWGの2つWG活動を通じて行っている。
また、国際安全規格ISO13482（Personal care robot）の設立に関してもサポートを行っている。（2013年2月に正式発行）
提言②は「現場実証機会の拡大とロボット導入に向けた社会制度の見直しの推進」である。
これは、次世代ロボットの実証機会確保の必要性、重要性を踏まえ、その実現性を様々な場で訴え、国や多くの自治体でロボット関連の実証プロジェクト等が実現されている。以下にその一例を示す。

＊経済産業省・厚生労働省「ロボット介護機器開発・導入促進事業」
＊厚生労働省「福祉用具・介護ロボット実用化支援事業」
＊経済産業省・厚生労働省「福島県における医療福祉機器・創薬産業拠点整備事業」
＊神奈川県「介護ロボット普及推進事業」
＊愛知県「次世代ロボット実証支援事業」
＊新潟県「最先端介護関連ロボット実証事業」
＊大阪市「ライフイノベーション推進実証実験事業」
提言③は 「ユーザ支援を通じた、製品普及促進に向けた環境整備」である。
これについて、国の戦略として、ロボットやRTの活用が重要な施策の一つとして取り上げられており、着実な推進が求められている。例えば政府・国家戦略会議：「日本再生戦略」の中の「ライフイノベーション」でロボット活用を位置付けている。また、内閣府「科学技術重要施策アクションプラン」で少子高齢化社会における生活の質の向上として、高齢者や障害者などの機能代償・自立支援技術開発の重点取組の中で、ロボット技術の開発と実用化をとりあげている。

このように、サービスロボット（次世代ロボット）への国民の期待は益々大きくなっており、ロボットビジネス推進協議会としてサービスロボットの実用化、ビジネス化取組を加速推進させユーザ支援と製品普及へ歩みを続けていくのが責務であると考える。

濱田 彰一（一般社団法人 日本ロボット工業会）

～次世代ロボット開発ネットワークRooBO～

●RooBOの概要と具体的な取組事例

次世代ロボット開発ネットワークRooBO（ローボ。＊以下、「RooBO」という）は、大阪圏の中小企業が中心となり、平成16年に設立した企業ネットワークである。設立当初から、公益財団法人大阪市都市型産業振興センターに事務局を置く。設立時は28社の会員数であったが、現在、法人会員235社、個人会員254名（＊平成25年9月末現在）が参画している。

RooBOの設立目的は、中小企業が新たなロボットビジネス参入の機会を提供することで、大阪圏から新たな製品やサービスの創出を目指すことである。

当時はロボットビジネス黎明期ということで、情報も少なく、部品も高額であるなど参入するには非常にハードルが高かった。ましてや中小企業となると様々な要素技術から構成されるロボットを単独で製作することは非常に困難であった。そこで、複数の企業が協同し、開発をおこなう目的として設立した。会員同士が交流会や勉強会などで相互の取組を知ることで案件に応じて柔軟にプロジェクトを組成している。こうした9年間の取組の中から、下記のとおり製品やサービスが創出されている。

■RooBO取組事例

・移乗介護機器「ROBOHELPER　SASUKE」、自動排泄（はいせつ）処理装置「LOVE」（マッスル株式会社）

・みまもりロボット（株式会社ハイコム／有限会社パーソナル・テクノロジー）

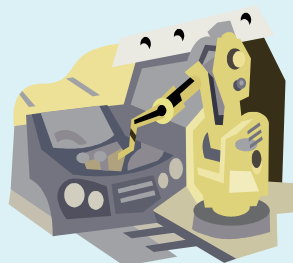
●RooBOのこれから

これまで9年の取組により、参加する企業も増え、いくつものプロジェクトが創出さ

第4章

れている。しかし、こうした取組は順風満帆な訳ではなく、様々な課題を抱えながら、その解決策を会員企業と協議し、試行錯誤しながら対応してきた。例えば、会員数の増加にともない会員間の関係が希薄になるという課題がある。これは現在も抱える課題であるが、こうした課題の解決法として、会員自ら交流会や勉強会の企画をおこなうなどしている。こうした取組から古参の参加企業と新規の企業が交流し、新たなプロジェクトの組成につながっている。しかし、プロジェクト組成後、ビジネス化に至るまではサポート機能を有していないなど解決しなければならない点は多々ある。こうした機能の開発をおこない、また企業が率先して取組をおこなえるよう事務局と企業と連携した企業ネットワークへと成長させていきたい。

前場 大輔（公益財団法人 大阪市都市型産業振興センター 新産業創造推進室 ）

第4章

コラム 4-17

～神奈川県のロボット実証実験～

神奈川県では平成23年度より、ロボットの実証実験支援事業を行っている。この事業は、実証実験実行委員会（構成：神奈川県、川崎市産業振興財団、かわさき・神奈川ロボットビジネス協議会）が実施主体となり、実証実験の企画を募集、選考を行い、応募者（被採択者＝実施者）とともに実証実験を運営する。

一般的に実証実験とは、新開発の製品・技術などを実際に使用し、実用化に向けての問題点を検証することを指す。ロボット開発における実証実験では、ユーザの反応等を見ることでその後の改良・商品開発に役立てたり、事業化の可能性を検証したりする狙いがある。対象とするロボットは二足歩行ロボットや搭乗型ロボットなどに代表されるような、いわゆる”ロボット”だけでなく、ロボット関連技術を使った製品やシステム、例えば、橋梁メンテナンス診断や高齢者の見守りシステムのようなものも含まれる。

平成23年度、24年度の実証実験では、採択された実施計画に基づき、実行委員会が全体費用の1/2以内を負担し、実行委員会が委嘱したコーディネータが実施者に代

わって、実験会場の手配や関係機関との交渉など、実証実験実施に必要な調整・サポートを行い、実施者とともに実証実験を運営した。ロボットの実用化、普及に欠かせない安全対策には特に力をいれており、ロボットの本質安全、機能安全を確認するための各種書類の提出、実験現場での安全性の確保、万が一事故が生じた場合の保険の加入など、想定されるリスクを回避するための検討と検証を行った。

これまで病院、船舶、橋梁、プラント、遊休地など幅広い施設の協力を得て、川崎、横浜地域を中心に計14件の実証実験を行なった。

実証実験は、ビジネス化後では許されない多くの経験を得られるため、ロボットを実用化する上で大変重要である。特に、独自の実験施設を持てない中小やベンチャー企業

図表　ロボット実証実験実施回数、実施場所

	平成23年度	平成24年度	平成25年度（予定）
実施回数	6	8	32
実施場所	5（民間施設1） 病院、船舶、県・市施設	8（民間施設3） 橋梁、プラント工場、県施設・遊休地	30（民間施設23）高齢者福祉施設、病院、県施設・遊休地、公道など

にとって、ロボットが使用される環境に近い場所での実験実施は、ユーザニーズや導入の際のポイントの把握、準備・実施・撤収の段取りと時間配分の理解、安全面の検証など、様々な経験が得られる貴重な機会となる。平成24年度に実施した実験では、赤外線カメラで壁面診断をしている業者とのデータ比較を行い、ユーザにロボットを活用してもらう客観的なデータを示すことで、ビジネスにつなげる試みもなされた。

また、実施者に代わって、実行委員会やコーディネータが実験実施に必要な調整・サポートを行うため、民間メーカのロボットの実験が公益性のある実証実験として信用力が高められ、施設の選定や許認可申請手続きなどを容易に行うこともできる。

損害保険の重要さについては実施者も認識してきており、また、施設を提供する側の安心、安全にもつながっている。

神奈川県では、さがみ縦貫道路の全線開通を機に県内経済の活性化を図るため、この沿線地域等を対象とした地域活性化総合特区「さがみロボット産業特区」を国に申請し、平成25年2月に指定を受けた。ロボット実証実験は平成25年度から「さがみロボット産業特区」の事業として、「介護・医療、高齢者支援、災害対応」を中心とした生活支援ロボットの普及に向けたニーズの掘り起こしや技術の改良を図り、ロボットの事業化を促進していくことになっている。平成25年度は県央地域において32件（予定）の実証実験を実施する予定である。

小林 賢一（かわさき神奈川ロボットビジネス協議会）

第4章

～ロボット関連企業ネットワーク～

神戸市では「ロボット開発によるものづくり技術の高度化と市内産業の振興」等を目指し「神戸RT（ロボットテクノロジー）構想」を推進しており、開発を促進する企業間のネットワークとして「ロボット開発研究会」と「神戸RT研究会」の２つの研究会がある。

「ロボット開発研究会」は、神戸市内の中小製造業約280社からなる（一社）神戸市機械金属工業会において、会員企業によるロボットの共同開発を推進する組織として設置された。勉強会やセミナーなどによる情報収集・情報交換を行いながら、会員企業の技術の高度化を図るとともに、会員企業の持つ要素技術を組み合わせて共同開発をすすめている。

「神戸RT研究会」は、神戸RT構想の中核機関である（公財）新産業創造研究機構神戸ロボット研究所において発足した、市内外の中小企業のほか大学・研究機関等も参画する産学官で構成される研究会である（平成25年６月現在：131社・団体）。ロボット関連のセミナーや勉強会の開催、調査研究活動を通じて、介護や農業を支援するロボットの研究開発・事業化を目指している。現在は、社会的ニーズの高い農業支援の分野における取組として、平成22年度にスタートした５年間のプロジェクト（農水省委託プロジェクト）の畦畔除草ロボットの開発に取り組んでおり、平成27年度の実用化に向けて開発をすすめている。

こうした企業ネットワークは中小企業にとって、会員企業の技術向上・製品開発のためにも重要であるが、現状では会員企業間の情報交換・情報共有という点では一定の成果はあるものの、開発製品の事業化という具体的な成果にはなかなかつながっていない。また、設立から年数がたつにつれ、会員企業間で活動への関与の度合いに差が生じている。

企業ネットワークとしての活動を活性化させ、より機能させていくためには、会員企業間で目的と課題を改めて共有化し、会員企業間のネットワークを充実させるとともに、現状のネットワークでは対応できない課題に対応するためにも、他の企業ネットワークと連携していくことも今後必要になってくるのではないか。

高原 昇（神戸市産業振興局経済部工業課）

B）法規制と特区（つくばモビリティロボット実験特区の実例）

a）つくばモビリティロボット実験特区の取組の概要

つくば市において実施されている「つくばモビリティロボット実験特区」の活動は、我が国におけるパーソナルモビリティロボットの公道（歩道）走行の実現を通じて、スマートなまちづくりや生活支援ロボットの産業化を目指す産学民官が一体となった取組として、平成23年6月に開始され、平成24年度末時点の累計公道実験日数284日、累計走行距離数6,934km、累計搭乗者数（開発者等除く）862人を数えるなど、実施内容の充実化が図られるとともに、他の自治体、マスコミ等の関心も高い点に特徴がある。

公道実験に使用されているモビリティロボットは、セグウェイ（セグウェイジャパン製）、マイクロモビリティ及び自律走行車いすMarcus（AIST製）、搭乗型移動支援ロボットROPITS（日立製作所製）の4種類であり、それぞれ運輸局緩和認定を受け、巡回実験、ツアー実験、様々な路面での自律走行実証実験、自動送迎等に向けたタブレット予約システムの実験、歩道における自律走行時の搭乗者の心理調査、広範囲での高信頼自己位置推定精度の調査等の実験を行っている。

b）同特区における規制緩和の概要

規制緩和に関してつくば市では、公道実験で用いるロボットに関する保安基準の緩和申請を行い、関東運輸局長の認可を得ている。さらに、つくば中央警察署長への道路使用許可を得て、モビリティロボット専用のナンバープレート（課税標識）を作成し、公道実験を開始している。これらは、現行法制度がロボットの公道走行を想定していないための措置であり、「道路交通法」及び「道路運送車両法」に係る特例措置は以上のとおりである。また、つくば市では、公道実験の結果、各緩和事項によっては特区ロボットの運行における安全性の低下や環境負荷の増大などの不具合は認めていないとしている。

平成24年度からは、これまでの公道実験では認められていなかった、モビリティロボットに搭乗したままでの「横断歩道」の走行が可能となり、平成25年2月、横断歩道の走行を含んだ公道実験ができるようになっている。また横断歩道の走行に併せて、公道実験を行う際の実施場所の境界を示すためのカラーコーンの設置義務なども不要となっている。

c）同特区における社会親和的な効果

そして最後に、規制緩和と同様に重要な、「ロボットが社会にもたらす社会親和的効果」について述べておきたい。日本人の特徴として、「ロボット」と言われるものに親しみを抱いている方も多いだろう。幼い頃からテレビアニメで親しんできた正義の味方やヒーロー、困った時に頼りになる未来の国から来た友達がロボットだったり、「ロボット」と銘打つ（学術的にロボットか否かは別にして）人形等のアトラクションを売りにしているレストランが、大勢の大人で繁盛していたりする。

「つくばモビリティロボット実験特区」では、実際に地域社会でロボットを実装（実走）してみて得られているロボットらしい効果として、ロボットの利用を通じて自然に生み出される

挨拶や交流、他者への配慮など、地域社会に「フレンドリーさ」を醸成している点があげられる。この点を、地域共創にも役に立つ「ロボットの効果」としてあげておきたい。この効果を生む要因として、もちろん好奇心をくすぐる「物珍しさ」もあるだろうが、複数年にわたって同じ地域で継続して実施している中で、「研究学園都市」らしく、かつ、日本を代表する先進的で誇らしい取組である点に加えて、市民自身によるロボットの利用、市民の見守り、地域の清掃や道案内、コンテスト等の多彩な行事も取り入れることで、市民の理解や共感が得られやすくなり、そもそも親しみやすいロボットが「鎹・仲介役」となって地域社会の構成員どうしの親近感や一体感を生み出し、親和性を高めているからではないだろうか。市民からの理解、共感、尊敬等を得つつ、地元の特色を活かした、誇らしいロボットの社会実装システムを地域社会が一体となって共創することで、ロボットが仲介役となって市民が市民の役に立ち、他の地域やマスコミからも注目され、市民どうし、市民と企業や公的機関、教育機関等のコミュニケーション、地域連携なども促進され、住みやすい街づくりや付加価値のある住環境生活が広がっていくのではないか、というロボットがもたらす新しい効果が分かった点でも、貴重な知見が得られている実験であると考えられる。

～つくばモビリティロボット実験特区の目指すところ～

つくば市では、日本で初めて「モビリティロボット実験特区」の認定を受け、2011年6月から、立ち乗り電動2輪型のパーソナルモビリティを中心としたモビリティロボットの公道実験を行っている。当初は、セグウェイジャパン、日立製作所、産業技術総合研究所の3機関と実験を開始したが、2013年からは新たにトヨタ自動車とアイシン精機が実験に加わった。現在、5機関がつくばの街中をフィールドに様々な実証を行っている。

これまでの延べ走行距離は8,000kmを超えた。事故や特段のヒヤリハットはなく、例えばセグウェイ等を公道で走らせるにあたり安全面では特段の問題はないと考えている。

パーソナルモビリティロボットの最大の特徴は何か。我々はこれまでの実験において次のようなことに気づいた。パーソナルモビリティロボットは、電気で動く超小型の乗り物で、CO2を排出しないため、環境に優しいエコなモビリティである。しかし、このモビリティの最大の価値はエコであることではない。自動車、バイク、鉄道、自転車

などのこれまでの輸送手段とは根本的に違う部分がある。

自動車、鉄道などのこれまでのモビリティは通常、A地点からB地点まで効率的に速く人を運ぶことを目的として作られている。「速く、効率的に、生産的に、便利に」といったことが「移動」という行為におけるこれまでの最大の価値基準であるが、それに対しパーソナルモビリティロボットの最大の特徴は、「スローモビリティ」という言葉で表現される。自転車等よりもゆっくりと低速域で安定して移動ができることで、移動に「ゆとり」と「余裕」が生まれ、人混みでも歩行者と親和性を保ちながら移動することができる。時速0kmから10kmまでのレンジでこれほどゆとりをもって移動が出来る乗り物はこれ以外には見あたらない。

速く、効率的に、便利に、遠くまで楽に移動できることだけが「移動」ではない。移動とはもっと生産的で、クリエイティブな行為であると考えている。ぶらぶらする、誰かと出会う、話す、何かを発見する、街や景色を楽しむ、アイデアが生まれる等、そうしたことすべてが移動という行為の中に含まれ、移動の中で生まれるものであると考えている。パーソナルモビリティロボットはそうした移動の可能性を広げるものであると考えている。

図表　たくさんのコミュニケーションが街中に生まれるセグウェイツアーの様子

大久保 剛史（つくば市 つくば市国際戦略総合特区推進部 科学技術振興課）

参考文献

[1]　「研究者を最優先した従来にない全く新しい制度の創設」（平成21年4月21日総合科学技術会議資料）.

[2]　「革新的研究開発推進プログラムの骨子」平成25年8月30日最先端研究開発支援推進会議）.

[3]　「ロボット技術の介護利用における重点分野」（平成24年11月厚生労働省老健局 振興課,経済産業省 製造産業局 産業機械課,平成26年2月改訂）.

[4]　http://www.nedo.go.jp/activities/CA_partnership.htmlや「介護ロボットポータルサイト」（http://robotcare.jp/）を参照.

[5]　「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入重点分野」（平成25年12月25日経済産業省及び国土交通省）.

[6] 土井美和子,小林正啓,萩田紀博,ユビキタス技術 ネットワークロボット 技術と法的問題、株式会社オーム社、平成19年10月20日
[7] 日本産業用無人航空機協会ウェブサイト http://www.juav.org/
[8] 次世代ロボットの法的課題について
(平成25年5月28日)
http://robopedia.sakura.tv/news/905
[9] http://www.meti.go.jp/policy/external_economy/trade_control/boekikanri/index.html
[10] http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100179.html
[11] http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100215.html
[12] http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100250.html
[13] アイザック・アシモフ(Isaac Asimov, 1920年～1992年)アメリカの作家,生化学者.同三原則は「われはロボット（I, Robot)」（1950年刊行）で初めて登場.
[14] サービスロボットに係るリスクと保険
(平成25年6月11日)
http://robopedia.sakura.tv/news/987
[15] 日本工業標準調査会（JISC）のウェブサイト http://www.jisc.go.jp/std/index.html
[16] 経済産業省「我が国の基準認証政策の紹介」.
[17] 生活支援ロボット安全検証センターのウェブサイト http://robotsafety.jp/wordpress/
[18] http://openrtm.org/openrtm/ja/content/openrtm-aist-official-website
[19] 注意すべき点として、福岡県の「ロボット開発・実証実験特区」の構造改革特区認定（平成15年11月）と公道実験（平成16年2月～、北九州市・福岡市）や、京都府精華町での「ネットワークロボット実証実験（公道走行等、平成17年11月)」、岐阜県の構造改革特区におけるVRテクノセンターでの小型ロボット公道走行実験(平成17年4月)、豊田市での搭乗型移動ロボット実証実験(平成22年10月）などが以前から多々行われていることがあげられ、つくば市の「モビリティロボット実験特区」の構造改革特区認定は平成23年3月である。

第4章

～「ロボット大賞」が果たす役割～

経済産業省と（一社）日本機械工業連合会が主催する「ロボット大賞（旧称「今年のロボット大賞」)」は、わが国の優れたロボットや部品等を表彰する制度として2006年より開始された表彰制度である。社会情勢を踏まえて、応募されるロボットも変化しており、前回の「第５回ロボット大賞」では、介護ロボットや災害対応ロボットの応募件数が増えた。

一方、ロボット大賞の表彰制度及び評価制度も、その時代の社会的課題等を踏まえて変更を加えており、前回からは「社会実装」を意識した制度へと改めている。具体的には、

事業目的に“ロボット／RTを公知し、その社会実装による新社会システムの実現と産業創出に結びつける”という一文を加えるとともに「ロボットビジネス／社会実装部門」を新設した。

同部門では、新たなビジネスモデルや社会モデルの提示により、サービスシステムから社会システムまでロボット／RTの実装につなげた例を評価したのに加え、ロボット市場創出のキーパーソンとなる「RTシステムプロデューサー」の輩出を期し、彼らの主導によるロボットの導入例も評価対象に加えた。「第５回ロボット大賞」を受賞したパナソニックの提案は、院内作業への実装に加え、RTシステムプロデューサーの役割を“組織的に”果たした点でも評価している。

当初、同部門への応募は少数にとどまると思われたが、計16件（全体で83件）の応募があり、企業から自治体までロボットの社会実装に関心が高く、これにより社会変革を遂げられることへの期待の高さが伺えた。次回は、さらに多くのロボットやシステムが同部門に応募されることを期待し、ロボット大賞を通じて、広く優れたロボットを紹介していきたい。

図表　ロボット大賞のロゴマーク

林 英雄（ロボット大賞 運営事務局　株式会社 日刊工業新聞社 業務局イベント事業部）

4.4. 海外の主要国の状況

ここでは、海外主要国（米国、欧州、韓国、中国、オーストラリア）における生活とサービス領域のロボット化産業の現状について述べる。

（1）米国

米国では、オバマ大統領が2011年6月に国内の製造業の再活性化を目指して、次世代ロボットの研究開発に取組む方針を発表した。この方針の発表を受けて、国立科学財団（NSF)、航空宇宙局（NASA)、国立衛生研究所（NIH)、農務省（USDA）の4機関からNational Robotics Initiative:（NRI）が発表された。これは4機関が研究開発費（総額7,000万ドル）を出資する省庁横断型の研究開発イニシアチブであり共同で公募を実施する仕組みとなっている。また、米国におけるロボット開発は、DARPA主導の防衛・軍事利用目的とした研究開発で注目されるようになった。DARPAの代表的なロボット開発プログラムには、「Autonomous

Robotic Manipulation（ARM）プログラム（簡単な指令で複雑な作業を自律的にこなす研究開発）」「Maximum Mobility and Manipulation（M3）プログラム（ロボットの機能を最大限に引出す研究開発）」「Legged Squad Support System（LS3）プログラム（軍用4足歩行ロボット）」「Urban Challenge（完全自動制御の無人ロボットレース）「DARPA Robotics Challenge（DRC）（災害対応ロボットの競技）」などがある。

米国ではDARPAを中心とした、軍事関連のロボットの開発が盛んであり、民生用に転用されるケースが多い。例えば、掃除ロボット「ルンバ」を開発した米国iRobot社は、1990年にMITの人工知能の研究者（ロドニー・ブルックス、ヘレン・グレイナー、コリン・アングル）によって設立されたロボット専業メーカであり、NASA、DARPA等の国家プロジェクトで探査ロボット（Genghis 1991年）や多目的作業ロボット（Urbie 1997年）などを開発し、2002年に家庭用自動掃除機「ルンバ」を発売した。日本では、2004年にセールス・オンデマンド社が発売を開始したが、直ぐには普及せず、10年後の2012年ごろに本格的に市場 が立ち上がった。米国では、このようにベンチャー企業が、国家プロジェクトで開発した技術の民間展開を長期に渡って継続できる環境にあることが、日本との大きな違いと思われる。

A）DARPAチャレンジと無人走行自動車の公道走行

米国ではIT企業であるGoogle社による無人走行自動車の開発が進んでいる（図4-28）。ネバダ州で自動走行車の公道走行を認める法律が施行（2012年3月、世界初、5月にGoogle車に初ナンバーを交付）され、CA州知事が自動運転車の公道走行許可法案に署名（2012年9月）した。Google社は、同社の中核事業である「Google　Maps」など地図の広告サービスとの融合や拡充に加えて、自動運転車のOS開発も手掛けようとしている。自動運転は外部の地図情報や道路情報などを取り込むことにより様々なサービスを行うことができる可能性を秘めており、スマートフォン用OSのAndroidで培ったビジネスモデル（地図に広告サービスを融合した「Google Maps」など）を、自動運転に持ち込みロボットカーのOSを開発することがGoogleの狙いといえる。欧州と日本では自動車メーカが中心となってロボットカーを開発している。ソフトウェアが得意なGoogleがハードウェアも手掛けロボットカーを開発するのとは逆向きで、ハードウェアを手掛けてきた自動車メーカがソフトウェアを開発している。完全に自動化された自動車は基本機能（走る、曲がる、止まる）がソフトウェアに左右される比率が高まる。このソフトウェアをIT企業と自動車メーカが競い開発しているという状況である。例えば、米国DARPAの2007年11月に行われたUrban　Challengeは、ロボットカーによるレースであり高校、大学、企業などからの多くの参加があった。カーネギー・メロン大学のロボット車「Boss（ボス）」が優勝し、賞金の200万ドルを獲得した。

また、完全に自動運転が実現し、自動車の基本機能に占めるソフトウェアの比率が高くなると、ロボット産業にとっては技術を適用する領域が広がり市場を拡大させるチャンスである。一方、自動車メーカにとっては今まで開発してきた車（ハードウェア）の技術的な割合が相対的に下がり、これまで以上に、ソフトウェアによって車の性能が大きく左右されてしまう可能

性がある。したがって、パソコンの世界のMicrosoftやGoogleのように、自動車のビジネスモデルがソフト中心に代わる可能性もあり、自動車メーカにとってはどのようなビジネスモデルでロボットカーを開発するかが大きな課題である。

現在、自動運転技術は日本やドイツの大手自動車メーカも開発を進めているが、自動運転の実現にはセンシングや情報処理の技術が必要である。これらの技術を取り込むために外部の大学や企業と協力して研究を進めている。例えばトヨタ自動車では自動運転技術の研究に関してスタンフォード大学に研究資金を提供[1]したり、Microsoft社やsalesforce.com社などと事業提携をしたりし自動車の情報サービスなどの強化を進めている。

今後は、自動車やその構成部品の製造販売だけではなく、それらを制御するソフトウェア、自動車の運転や利用時に役立つ様々な情報やITシステム、そのためのビッグデータの分析技術を使って統合的でスマートな移動や物流サービスを提供するビジネスが可能となる。このようなスマートな移動や物流システムを組み込んだ都市空間の設計・運営や住環境づくり等の総合的でグローバルなプロデューサーが、交通・物流、不動産、情報通信、エネルギー、医療、防災等の様々な業種を超えた総合サービスの提供業者となりビジネス推進の中心となることが考えられる。

図4-28　Google社のロボットカー

（出典：Google社ウェブサイトから）

（2）欧州

ここでは、欧州で行われている、ロボット技術とクラウドの融合による新しいソリューションを探索する研究開発やロボットが人間に近づくことに対する倫理的な課題に対する最近の取組を紹介する。

A）ロボットのためのネットワーク・プロジェクト

ロボット技術とクラウドコンピューティングとの融合により、医療・福祉ロボット等で実用化に向けて研究が進展している。クラウドコンピューティングとは、ネットワークをベースとしたコンピュータの利用形態で、ユーザはコンピュータ処理をネットワーク経由で、サービスとして利用する。クラウドによるサービスについては、企業向けサービスから、実世界から収集されるデータを対象にする消費者向けサービスへ発展してきている。クラウドロボティクスの社会イメージを（図4-29）に示す。例えば、搭載したセンサにより外部情報を取得し、より効率的に安全に移動できるインテリジェントなモビリティロボットや、センサネットワークで取得した情報やデータベースに蓄積された情報（ビッグデータ）から高付加価値の情報をロボットを通して現実世界にフィードバックするようなことが可能になってきた。

図4-29　クラウドロボティクスの社会イメージ

（出典：Japan Robot Week 2012 NEDOが描くロボットの未来像と今後の展開）

このように、クラウドによるサービスは、PC、スマートフォン、タブレット端末などの情報端末だけでなく、今後は各種センサ、家電、EVなどのモビリティ、ロボットなどへ展開していくことが予想される。特にロボットとクラウドコンピューティングの融合をクラウドロボティクスという。クラウドロボティクスの概観イメージを（図4-30）に示す。

クラウドロボティクスによって、個々のロボットが持つ処理能力は重要ではなくなるので、軽量、小型、省エネで、携帯性の高いロボットを作成でき、併せて製造コストが下がるというメリットも生まれる。ロボットの開発と製造において、クラウドは開発時間と導入コストの両面でロボット普及のハードルを大きく下げると期待されている。したがって、クラウドがロボット普及のキーテクノロジーとなる可能性があり、さらに、個々のロボットが学習した知識や情報を知識データベースに蓄積することで、さらに賢いロボットが実現可能となる。

欧州におけるクラウドロボティクスの研究開発として、第7次フレームワークプログラムの資金（Cognitive Systems and Robotics FP7/2007-2013.）でロボットのためのネットワーク・プロジェクト「RoboEarth」[2]の開発があげられる。「RoboEarth」は、「ロボット向けのwww構築」を目指し、オランダのアイントホーフェン工科大学、ドイツのシュトゥットガルト大学、ミュンヘン工科大学、スイスのチューリッヒ工科大学、スペインのサラゴサ大学の研究者らが立ち上げた。「RoboEarth」は、ロボットがタスクを習得する時までにデータをアップロードして、新しいことを行う際に助けを求めることが出来る場所である。（図4-31）に「RoboEarth」の構成を示す。「RoboEarth」はROSに互換性のあるコンポーネントを提供し、

知識データベースには、ソフトウェアコンポーネント（Object Databases）、ナビゲーション用の地図（Environment Databases）、タスク知識（Action Databases）などが蓄積される。

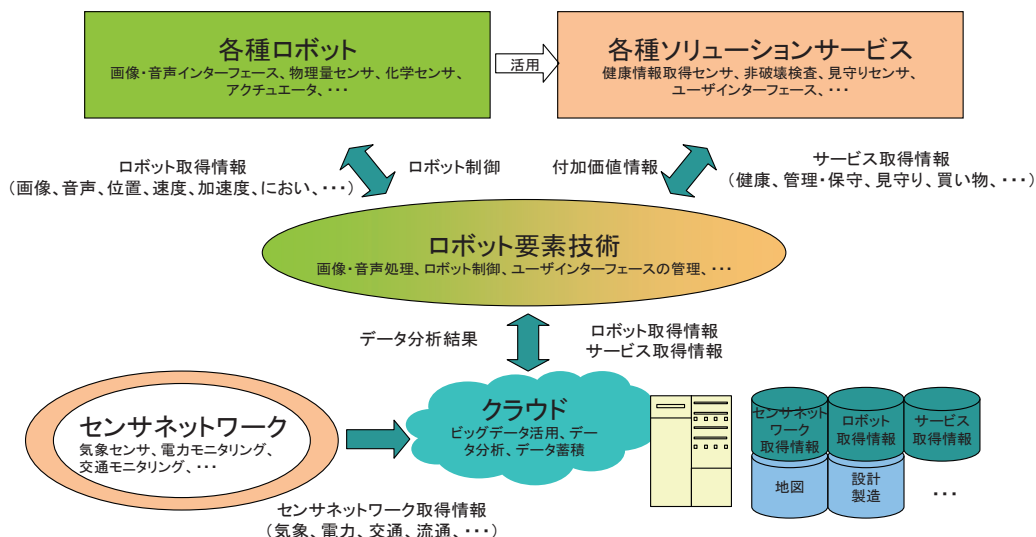
図4-30　クラウドロボティクスの概観イメージ

（出典：http://www.ntt.co.jp/journal/1209/files/jn201209060.pdfなどを参考に作成）

図4-31　「RoboEarth」の構成

RoboEarth
Web Services
Object Databases
Environment Databases
Action Databases
Server

Action and Situation Recognition and Labeling
Action Execution
Data Encoding
Environment Modeling
Object Recognition
Master Control
Learning
Generic Components

Hardware Abstraction Layer (Drivers, Motion Primitives)
Hardware Abstraction Layer (Drivers, Motion Primitives)
Robot Specific

（出典：http://www.roboearth.org/what-is-roboearth）

B）ロボット技術と倫理

ロボットがより人間に近づくに従い、倫理問題を解決する必要性が増してきた。従来ロボットは、人間のもっている作業機能を機械に置き換えたものだとも考えられてきた。具体的には、ロボットは人間が持っている「運動する機能」、「感覚（触覚、視覚、聴覚などの五感）」、「考えること（知能）」と、それを連携させる機能を機械に持たせたもので、“人間の機能の代替や機能の拡張を実現したもの”である。これらの技術は、いまのところ人間の代わりに作業したり、障害を克服するために用いられたりするものと考えられている。しかし、将来的に健常者の能力を増進される為に肉体に埋め込まれたりすることになると、倫理的な問題が生じるであろう。このようなロボット技術と倫理に関する問題について、欧州では2012年3月からRoboLawプロジェクト[3]（Regulating Emerging RoboticTechnologies in Europe: Robotics Facing Law and Ethics：FP7-SCIENCE-IN-SOCIETY-2011- 1）で検討が進められている。RoboLawプロジェクトのもっとも重要なアウトプットは、“ロボティクス規制白書”である。これは、欧州委員会に対するガイドラインでもあり、欧州における“ロボット法”のフレームワークとなる。

参考文献

[1]　米スタンフォード大学、次世代自動車の研究拠点「CARS」を設立
http://robot.watch.impress.co.jp/docs/news/20091117_329506.html

[2]　RoboEarth
http://www.roboearth.org/cloud_robotics

[3]　RoboLaw Project 開始日：2012年3月1日　期間：24ヶ月、予算：1,900万ユーロ、コーディネータ：Erica Palmerini教授（聖アンナ大学Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa, Italy)、概要：「ロボット技術、バイオ技術の進展にともない、法的枠組みのどこをどのように変更しなければならないか、という問題に取り組む。技術・法律・規制・哲学、そして人間科学の専門家で構成される。」
http://www.robolaw.eu/

コラム 4-21

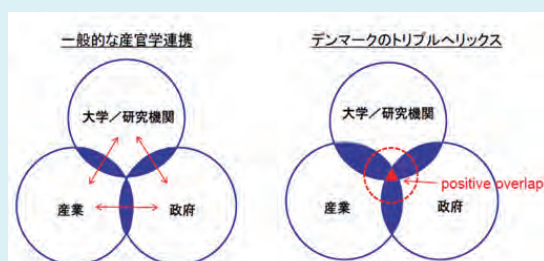
～トリプルへリックスとデザイン・ドリブン・イノベーションが導くロボットの社会実装～

デンマークでサービスロボットの導入が検討されている主な要因として、日本と同様に高齢社会に伴う労働人口の減少があげられる。社会保障制度が進んでいるデンマークでは、教育、医療、福祉が税金で賄われ、公務員による公共サービスとして提供されている。そして高齢化にともない今後10年以内に20万人近くの公務員が退職し、その結果公共セクターの労働者が不足すると懸念されていることが背景だ。そして2008年以降、政府が主体となりロボットを含めた労働省力化技術の開発支援を推進している。最近では、欧米に加えて日本や韓国などのロボット技術に対する期待が高まっている。日本の企業では、セラピー、リハビリテーション、歩行支援、移動介助、自動排泄処理、コミュニケーションなど多岐に渡るロボットの実証実験が行われている。

では、何故ロボット産業が発展していない北欧のデンマークでこの様な実証が進んでいるのであろうか？日本との違いは何処にあるのか？そもそもデンマーク社会が新しい技術の導入に積極的なことが前提としてあるが、社会実装という観点では、トリプルへリックスという社会システムが浸透していること、デザイン・ドリブン・イノベーションなど新しい技術を社会に実装する為の方法論が確立されていることに関係していると考えられる。トリプルへリックスとは、簡単には政府、大学、産業間の連携のことであるが、知識社会において三者間の相互作用を通じて社会全体でイノベーションを起こすことが重要となり、デンマークでは他国に比べて産官学が重層的に関係しながらイノベーション創出を誘発している。

医療や福祉領域においてロボットの様な新しいシステムを開発し導入するには、研究機関の基礎研究から始まり、民間企業による技術開発に加えて、実証実験や現場での導入など、行政の参画と支援が必須であることを考えると有効なシステムであることが分かるであろう。特に日本の様にロボット企業が試作機を作ってから、病院や施設で行う実証実験の条件を行政や各機関と交渉するのとは異なり、トリプルへリックスでは、ロボット開発の初期段階から、行政（含む病院や福祉施設）、民間企業、研究機関が共同して新しいシステムを開発、実証、導入する為の枠組みを準備し、様々な利害

図表１　デンマークのトリプルへリックス

第4章

関係者の調整を行うことが当たり前となっている。その結果新しい技術の開発から実証、そして社会への導入をより効率的に行うことが出来る（図表1）。

次にデザイン・ドリブン・イノベーションであるが、デンマークではユーザ・ドリブン・イノベーションが有名であり、新しいソリューションを開発する際にユーザを巻き込みながら技術プッシュではなく、問題解決によりニーズを発見する方法が採られていた（図表2）。

しかし、社会が複雑化しクラウドやビッグデータなどの新しい技術が開発される中、現在ではデザイン・ドリブン・イノベーションの重要性が問われている。ここでは問題解決ではなく、新しい技術に「意味づけ」をすることでイノベーションを創出することが求められている（図表3）。ロボットなどまだユーザが利用方法を明確に定義付けることが難しい技術の場合、いくらユーザの声を分析しても革新的な製品を開発することは難しい。例えば、携帯電話が普及していなかった80年代初頭に、今のスマートフォンを想像出来ないのと同じことだ。デザイン・ドリブン・イノベーションは、まだ方法論として普及している訳ではなく、また一部の企業は意識せずに同様のアプローチを取り入れている。しかし、重要な点はスマートシティ、IT融合、ビッグデータなどで社会システムがプラットフォーム上に収斂していく過程では、これまでの様に製品単体での開発ではなく、社会システムとの連携やホリスティックな設計が求められることになる。例えば、スタンドアローンのサービスロボットは、将来医療、福祉、年金システム間での連携が前提になるであろうし、且つユーザ視点を取り入れたインタフェースを開発する為には、ロボットの位置づけや意味づけを再定義しながらデザインすることは有効な方法であると考えられる。

こうした点はテクノロジー・イノベーションに傾きがちな日本には、社会実装を実現する上で非常に参考になるアプローチであると思われる。

中島 健祐（デンマーク大使館）

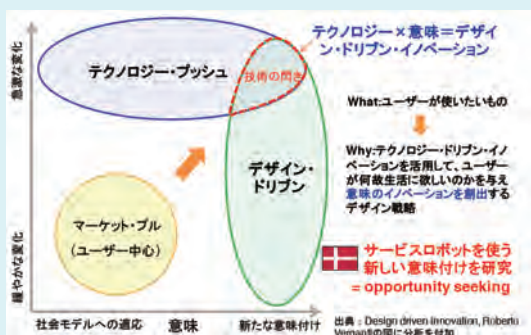
図表2　ユーザ・ドリブン・イノベーション

ユーザー・ドリブン・イノベーション

ユーザー･ドリブン･イノベーションは新しい製品やサービス、概念を開発する為に、ユーザーの経験や知識を啓発し活用するプロセスである。ユーザー･ドリブン･イノベーションのプロセスは真のユーザーニーズと体系づけられたユーザー関与の理解に基づいている

- **ユーザーに戦略的に注力する**：**技術プッシュ型ではなく、**ユーザーの要求に応える製品を開発する。プロセスは**問題解決よりニーズの発見**を目的とする。
- **収入を向上させることを重視する**：ユーザーニーズを満たすソリューション開発による**コスト削減を目指さない。**
- **革新プロセスで複合的な技能と評価を活用する**：技術、ビジネススキルに加えて、**民俗学、人類学、デザイン**などが含まれる。
- **ユーザーの直接的な参画**：観察プロセス、ユーザーパネルを通じたイノベーションプロセスで**ユーザーを直接巻き込む。**
- **オープンで協力的なビジネス環境の要件**：柔軟な企業構造が**オープンソースや複数の専門的な方法論の活用**を可能にする。

図表3　デザイン・ドリブン・イノベーション

第4章

（3）韓国

韓国では、国策による重点投資により、ロボット分野に対する手厚い産業化支援が行われてきた。同時にサムスン電子（ヒューマノイドロボット「Roboray」、軍艦火災消火ロボット「ASH」など）やLG電子（掃除ロボット「HOM-BOT2.0」）を始めとする民間企業も研究開発を推進し、技術開発にとどまらずビジネスに向けて、産官学が一体となって取り組んでいる。

A）韓国の研究開発の取組

2008年3月に韓国は「知能型ロボット開発及び普及促進法」を制定し、「次世代の成長産業である知能型ロボットの開発及び普及に関する基本計画と年度別実行計画を策定し、知能型ロボット産業振興のための政策の策定及び開発等に当る韓国ロボット産業振興院を設立する」ことを定めた。「知能型ロボット開発及び普及促進法」に基づき、2009年に「第1次知能型ロボット基本計画」が策定された。その計画では市場拡大に伴うフェーズごとに主力製品群を定め、国が集中的に支援を行うとしている。サービスロボットの新市場創出型の主力製品群には教育、清掃、監視偵察分野が、技術先導型では医療（手術）、交通/輸送、シルバー分野があげられ、国として支援を行っている。

また、「知能型ロボット開発及び普及促進法」では、知能型ロボットの品質保証機関の設置や保険制度の制定、ベンチャー等のロボット開発企業に投資する知能型ロボット投資会社（ロボットファンド）の創設や、「ロボットランド」などを具体的に定めており、ロボット産業の育成に向けた国の取組を明確に示す内容となっている。

B）ロボットランド

「ロボットランド」とは、日本における「ロボット特区」に類する施策の名称であり、様々な知能型ロボットを活用した施設等の立地地域を指す。「ロボットランド」では「第1次知能型ロボット基本計画」で新市場創出型の主力製品群として指定された、教育、清掃、監視偵察分野などの知能型ロボット技術の実証実験から実際のビジネスにつなげる仕組みづくりを行う。開業は2014年以降になるため、全容は明らかではないが、総事業費6,843億ウォン（約684億円）は、国費、市費、民間投資、外資が出資する。戦略的投資者として韓国LGグループ、POSCON社などの名前があがっている。さらに、同地域に、ロボット技術を持つソウル大、韓国科学技術院（KAIST）等を誘致し、技術インフラを集積したロボット産業振興地域とすることを目指している。

また、「ロボットランド」は、ロボット文化の発祥の地として、ロボット産業と技術、エンターテイメントが調和する都市として計画され、テーマパークには11のライド、7つのアトラクション、8つのショーが用意され、ウォーターパークも計画されている。その他に、ホテル、商業施設、映画館、オフィスビル、ロボット関係の最先端研究所、大学なども計画されている。現在、仁川経済自由区域の青蘿地区と慶尚南道・馬山において造成が進められており、2014年に世界初のロボットを主題としたテーマパークが開業する予定である。

C）知財戦略

ここでは、LG電子が掃除ロボットを日本で直接販売 するなど、ロボット技術開発分野でも日本への追い上げが著しい、韓国のロボット特許に関する動向を述べる。韓国のロボット技術動向やロボット特許動向は、日本のロボット技術開発の方向性を決める指標の一つになる可能性がある。

2009年11月に韓国特許庁と韓国ロボット産業協会は、「知能型ロボット」分野における協力によって特許競争力を高めるため、業務協力（MOU）協定を締結した。MOU締結に従い、韓国特許庁は、韓国国内の主要なロボット関連企業150社余りが会員となっている韓国ロボット産業協会と、未来の成長分野で付加価置の高い知能型ロボット分野の特許ポートフォリオを作成するために協力し、会員企業の優れた研究開発結果物に対する事業化を支援していく。韓国特許庁が、会員企業らに知能型ロボット分野のコア・基本特許取得のための戦略樹立方法や特許分析のノウハウを伝授し、今後、韓国国内のロボット分野市場が徐々に成長するにしたがって生じるであろうロボット分野における知的財産権紛争に予め対応できるよう協力するという点で、協定締結は非常に大きな意味を持っている。なお、この業務協定には、韓国特許庁が協会の会員企業に知的財産権取得のための実務知識を提供し、審査官と企業の研究員を連結して知的財産権に関する問題が発生した場合、企業が速やかに問題を解決できるようヘルプするホットラインを設置する計画も含まれている。

韓国特許庁は、知能ロボット分野の知的財産権の創出に向け、ロボット専門企業を対象に「知財権中心の技術獲得戦略事業」、「先端部品素材IP-R&D戦略支援事業」を推進し、特許ポートフォリオ を提供することにより、知財権創出戦略を提示する計画を出している。

韓国特許庁は、「知財権中心の技術獲得戦略事業」を民間に展開するために、R&D特許センターに「IP-R&D拡大支援本部」を設け、産・官・学のCEOや教授などで構成された「IP-R&Dリーダーズクラブ」を発足させた。「知財権中心の技術獲得戦略事業」は、研究開発の企画段階から特許情報を積極的に取り入れコア・基幹特許を創出し、従来の研究開発の成果としての特許ではなく、特許攻勢に積極的に対応する方策として、戦略を提示することを目的にしている 。

（4）中国の技術開発動向

中国では科学技術部が発表している2012年5ヶ年国家計画において、ロボット分野に対して以下の方針を定めている。

①国家公安へのサービスロボット適用の促進

セキュリティサービス及び災害救助サービス分野（救助ロボットやテロ対策ロボット等）、エネルギープラントメンテナンス分野（原子力発電所の監視等）、マルチユース可能な技術サービス分野（可変構造型モバイルロボット等）

②経済発展に伴う生活レベル向上に適応したサービスロボットの促進

人工臓器分野（人工眼球、インテリジェントな義足等）、医学的リハビリテーション分野（手術ロボット、精密血管介入ロボット等）、住宅サービス分野（高齢者、障害者の移動やケア等）

③主な科学技術プラットフォーム・研究の促進

高度なバイオニクス分野（ヒューマノイドロボット等）、マイクロ・ナノシステム分野（マイクロまたはナノロボット等）、標準モジュールプラットフォーム分野（標準化されたモジュール、オープンソースのロボット制御ソフトウェアシステム等）

～ロボット技術によって変わる看護・介護の働く環境とケアの質～

オーストラリアでは、1998年から看護・介護の腰痛予防対策としてノーリフティングポリシーを制定し、人力による持ち上げを禁止し、看護・介護職に福祉用具や機器の積極的使用を勧めている[1]。その背景には、人力移乗による怪我1件あたりの（腰痛を含む）病院の経済的損失額を、約4万豪ドル（約370万円）と算定し、ビクトリア州健康産業全体での労働災害給付金は、年間約5,400万豪ドル（約50億円）である。直接的費用としては医療費や損失時間分の給与があり、間接費用としては人員補充費、超過勤務手当、スタッフの早い入れ替わりとモラルの低下による新人教育研修費用、事務／法的費用などがあげられていた。健康産業全体での年間労災保険料は4,800万豪ドルで（約45億円）、なんと過半数が看護師の腰痛によるものであったと報告されている[2]。アデレードでも、2002年ノーリフトの導入後の機器の活用によって看護・介護職の腰痛訴え率は減少し、それにともない政府が負担しなければいけない費用もたった2年で66%削減することができたと報告している[3]。現在では、腰痛予防対策必要な機器だけでなく、いかに介護や看護職がプロとして必要な仕事に集中できるように働く環境をITやRTを活用して整えるかがオーストラリアの介護施設や病院では当たり前となっている。アデレードにある老人介護施設では、ケアされる側の自立促進の視点からも、介護者が手をだすのではなく、いかに機器を使用して、サポートが必要な人も自立した生活ができるようにするか。看護や介護の教育を見直し、在宅ケアに移行し

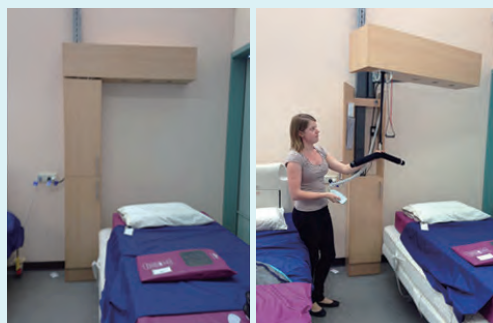
た際には、まず自立の助けとなる福祉用具を検討し、社会参加を促し、それでも人的支援が必要な場合のみ人（看護や介護）が介入できるように学校教育や施設環境も整えている。これは、介護を受ける人の自立を促進するだけでなく、医療や介護に関わる人たちの考え＝「自分たちがいないといけない。」という考え方を変えることが必要であるためと、報告されている。また、福祉用具を活用することは、介護や看護職を導入するよりも在宅ケアにおいての人件費の削減や介護予防にもつながってくるといわれている[4]。

日本でも2013年6月、19年ぶりに厚生労働省が腰痛予防対策指針を改訂し、介護・看護現場での人力による持ち上げを原則禁止した[5]。この背景には、看護・介護職の腰痛による労災申請数が増加したことがある。日本ノーリフト協会の昨年の調査でもこの仕事についてから仕事による腰痛を経験したものは、81%（n＝6,006）であり、20～30代に腰痛訴え率が多いことも介護や看護職の特徴だ[6]。彼らの仕事で、身体負担が多い介助として、人力のみで介助しているベッドから車いすへの移乗や入浴・排泄・おむつ交換などがあげられている。そして、この分野は、現在経産省も開発を進めている非装着型もしくは装着型のロボット（RT）技術が期待される。

オーストラリアの現状を見るとこの看護や介護の働く環境にRT技術を導入することは、リハビリテーション機器を作るよりも大きなマーケットであり、決して非装着型・装着型だけのマーケットではないことがよくわかる。例えば、ベッド低床にもなり高さもしっかり上がる。もしくは座位をとることができるベッドが導入される[7]（図表1）。リフトも家具調で一見するとわからない（図表2）。ベッドを押す機器ガザンダ（図表3）。

あるいは、日本では介護や看護職が汚物室で一生懸命洗っているベッド上便器（図表4）や尿器も、機械ができるところは機械に任せて、介護や看護しかできないことに時間が使えるように・・・と導入が進んでいた洗浄機器（図表5）。ベッド上

図表1　ヒルロム社の介護ベッド[7]

図表2　リフトも家具調で一見するとわからない

便器（**図表4**）を使用後そのまま洗浄機器（**図表5**）に捨てれば、水で攪拌し、トイレットペーパーのように下水に流すことができる。

日本の看護や介護が提供している移乗介助方法は、人力による持ち上げを行っているため、その人の技術や体力に頼るため人（プロ）によって方法はまったく違う。これは、ケアされる側や管理者から見ると介助者によって変わる介助ほど恐ろしいものはない。閉ざされた居室やトイレでの移乗介助において、動かす人の技術や知識だけに頼ることをやめなければいけない。RT技術が日本の看護や介護に導入されることで、ハートを持ったプロがハードを使いこなし、機器を活用することで、本当に人の手のいるところに時間を使うことができるようになる。RT技術の活用は、もう１度看護や介護の立ち位置を見直すきっかけになると感じている。ただし・・・日本でRT技術を開発・改良する際には、看護や介護現場を選んで意見交換しなければ、現場のその場限りの思いつきの要求通りにRTを作っても、現場は何かしら条件を出し、結局いつまでたっても現場でRTは活用されないということに陥る。オーストラリア看護連盟（2002）の調査報告があったがノーリフティングポリシー（方針や指針）が大切なのではなく、ノーリフトプログラム＊の導入（現場で働くプロとしての意識を変えるためのプログラム）がオーストラリアの介護や看護に根付いていた文化を変えることで、いまや日本のRTやIT技術を待ち望む人たちへと変えたのである。

図表３　ベッドを押す機器ガザンダ

図表４　簡易便器(ベッド上使用再生紙を使用した便器)

図表５　洗浄機器

＊ノーリフトプログラムとは、1998年よりオーストラリア看護連盟が介護や看護に合った腰痛予防対策教育プログラムを作成し、「患者自身が自力で動くことを奨励し、

第４章

自立性を保つことは何よりも大切である。患者には、可能な限り自分の体重を自分で支えてもらえるような自力による移動を奨励すべきである。」と、5部にわかれたプログラムを発表した。日本においても2009年度から日本ノーリフト協会がオーストラリア看護連盟のノーリフトプログラムを導入し（2013年度から改訂版を使用）日本の施設や病院への介入を行っている。

参考文献

[1] Australian Nursing Federation（Victorian Branch）,No Lifting Policy , reviewed 2008.

[2] The Policy and Strategic Projects Division Victorian Government Department of Human Services, Back　Injury Prevention Project in Victoria,　Melbourne Victoria October 2002.

[3] Australian Nursing Federation（SA Branch）,　No lift No injury training Program, Adelaide 2002.

[4] ACH Group in Adelaide, Viewed 4.Dec. 2013 http://www.ach.org.au/vita

[5] 職場における腰痛予防対策指針及び解説、厚生労働省,2013年 www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000034et4-att/2r98520000034mtc_1.pdf

[6] 職場における腰痛予防対策指針及び解説 - 厚生労働省 http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000034et4-att/2r98520000034mtc_1.pdf

[7] ヒルロム社 Vis-a-Vis-Bedhttp://www.hill-rom.com/usa/Products/Category/Hospital-Beds/Volker-3082-Vis-a-Vis-Bed/

保田 淳子（日本ノーリフト協会）

第4章

第4章執筆者

ワーキングメンバー本文執筆者

石黒　周　　株式会社 MOTソリューション

伊藤　健三　　株式会社ニチイ学館

北垣　和彦　　パナソニック株式会社 モノづくり本部 生産技術開発センター 企画グループ

廣瀬　通孝　　東京大学大学院 情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻

光石　衛　　東京大学 大学院工学系研究科 機械工学専攻

西田　佳史　　独立行政法人産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究センター

淺間　一　　東京大学 大学院工学系研究科精密工学専攻

萩田 紀博　ATR社会メディア総合研究所長 知能ロボティクス研究所
成田 雅彦　産業技術大学院大学 産業技術研究科情報アーキテクチャ専攻
真野　敦史　独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術開発推進部 技術開発企画課

本文執筆者

Abderrahmane Kheddar　独立行政法人産業技術総合研究所知能システム研究部門 AIST-CNRS ロボット工学連携研究体（CNRS-AIST JRL <Joint Robotics Laboratory>, UMI 3218/CRT）
秋元　大　セグウェイジャパン株式会社
浅田　稔　大阪大学 大学院工学研究科 知能・機能創成工学専攻
内山　勝　東北大学 大学院工学研究科 機械システムデザイン工学専攻
鴨志田　英樹　株式会社ロボット科学教育
木村　哲也　長岡技術科学大学 大学院技術経営研究科
金広　文男　独立行政法人産業技術総合研究所 知能システム研究部門 ヒューマノイド研究グループ
柴田　崇徳　独立行政法人産業技術総合研究所 ヒューマンライフテクノロジー研究部門
高橋　智隆　株式会社ロボ・ガレージ
谷口　恒　株式会社ゼットエムピー
橋本　秀紀　中央大学 理工学部 電気電子情報通信工学科
松本　治　独立行政法人産業技術総合研究所 知能システム研究部門 スマートモビリティ研究グループ
持丸　正明　独立行政法人産業技術総合研究所サービス工学研究センター
大和　信夫　ヴイストン株式会社

コラム執筆者

4-1
陳　隆明　社会福祉法人　兵庫県社会福祉事業団　兵庫県立リハビリテーション中央病院
4-2
伊藤　正明　株式会社カワムラサイクル
4-3
伊藤　健三　株式会社ニチイ学館
4-4
櫻内　昌雄　住友商事株式会社　ビル事業部
4-5
小松崎　常夫　セコム株式会社 IS研究所

4-6

谷口　恒　　株式会社ゼットエムピー

4-7

真野　敦史　　独立行政法人新エネルギー･産業技術総合開発機構 技術開発推進部 技術開発企画課

4-8

真野　敦史　　独立行政法人新エネルギー･産業技術総合開発機構 技術開発推進部 技術開発企画課

4-9

先川原　正浩　　千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター

4-10

浅田　稔　　大阪大学 大学院工学研究科 知能・機能創成工学専攻

4-11

浅海　和雄　　みずほ情報総研株式会社　サイエンスソリューション部

4-12

佐藤　知正　　東京大学 フューチャーセンター推進機構 RTイノベーションコンソーシアム

4-13

西田　佳史　　独立行政法人産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究センター

第4章

4-14

山海　嘉之　　筑波大学大学院 システム情報工学研究科 サイバニクス研究センター／CYBERDYNE株式会社

4-15

濱田　彰一　　一般社団法人日本ロボット工業会

4-16

前場　大輔　　公益財団法人大阪市都市型産業振興センター　新産業創造推進室

4-17

小林　賢一　　かわさき神奈川ロボットビジネス協議会（NPO法人ロボティック普及促進センター）

4-18

高原　昇　　神戸市産業振興局経済部工業課

4-19

大久保　剛史　　つくば市　つくば市国際戦略総合特区推進部　科学技術振興課

4-20

林　英雄　　ロボット大賞 運営事務局 株式会社日刊工業新聞社 業務局イベント事業部

4-21

中島　健佑　　デンマーク大使館

4-22

保田　淳子　　一般社団法人日本ノーリフト協会

5 フィールドロボットの現状と課題

5.1. 現状

5.1.1. 市場

A）経済性向上のためのフィールドロボット

経済性向上の基盤は､重機と呼ばれている建設機械に代表される様々な屋外作業機械である。これらの機械は、無人化要求というよりも、作業効率の向上や操作員の削減、また、24時間稼働という作業コストの低減要求から適用されている。したがって、作業コストの低減が実現されれば、自ずと省人化、無人化、すなわち、フィールドロボットへと向かっていくと考えられる。そして、高速性・高信頼性追求を必須とするフィールドロボットとして進化していくと思われる。直近では、鉱山機械、大規模農漁業機械システム、24時間稼働建設機械における進展が期待できる。

B）危険回避のためのフィールドロボット

災害や事故は社会に付帯するものとして発生する。そして、いったん発生すると緊急の救助や復旧が不可欠となる。このような状況では、人が作業のほぼすべてを実施してきたが、作業環境が過酷であり、二次災害も発生している。したがって、フィールドロボットへの期待は大きい。しかし、災害対応作業のロボットでは、利益をベースにしたロボット市場形成という考え方は適切でない。むしろ、社会を維持継続していくための社会コストとしてロボットを活用する視点が必要である。すなわち、二次災害による人命損害の防止、復旧の迅速化等にフィールドロボットが貢献できるかという視点であり、そのような社会システムや継続性のある組織作りと一体化したフィールドロボットの投入を図っていくことが重要である。ここで、福島第一原子力発電所の廃炉は、40年という長きにわたって、日本人が関わっていかねばならないロボットが必須の長期継続作業である。したがって、安全回復のための社会コストの負担と維持継続という2つのキーワードを逃れることはできない。その意味で、危険回避フィールドロボットの先行例としてしっかりと考えていくことが必要である。

C）社会創造のためのフィールドロボット

これからの日本が従来通りの世界プレゼンスを維持していくためには、今の社会全体を少子高齢化社会に適応できるように新しく作り替える必要がある。この意味で、人口減少を支える

のはロボットしかないともいえる。この社会はこれまでの歴史が経験したことのないものであり、単にロボットという視点でなく、都市システムや村落システムまで踏み込み、ロボットを導入しないと何ができないかの視点を強化することが不可欠である。そして、社会の新しい要求としての社会システムと一体となったフィールドロボット市場を開いていくことが求められる。このことは、世界の2大人口大国の中国、インドでも避けて通ることのできない世界問題でもある。そして、日本モデルの成功は巨大フィールドロボット市場への入り口にもなるものである。

これらの観点を踏まえ、各分野の現状と将来市場を以下に俯瞰する。

（1）建設分野

建設分野のロボットは、建築分野と土木分野に大別される[1]。中間的な領域のものにトンネルのシールド掘進機などがあるが、両者のロボットには、必要とされる技術や市場に相当に隔たりがあり同時に語ることはできない。それぞれの分野の市場動向を以下に展望する。

A）建築分野のロボット

建築分野のロボットの歴史は古く、1970年代にまで遡ることができる。以前は建設ロボットと言えば、主にこの分野のロボットを指していた。また建築分野のロボットは、日本で生まれたものと考えてほぼ間違いない。1970年代の後半から、内装組立や耐火被覆の吹付けロボットなどがゼネコンを中心に開発されるようになり、1980年代に入ると、バブル経済による建築市場の活況とそれに伴う労働力の不足を背景に、建設ロボットの開発は一気に加速した。また1982年、早稲田大学にWASCOR（Waseda Construction Robot）プロジェクトが設けられ、多数のゼネコン、機械メーカの技術者がこれに参加、技術者間の連携が生まれたことも、建築分野のロボットの開発が推進される力のひとつとなった。1980年代には、（図5-1）に示すコンクリート仕上げロボットをはじめ、内外装組立など、多くの工種のロボットが開発された。しかし通常の建築施工では、複数の工程が並列に進行するため、ひとつの工程だけがロボット化されても全体の工期短縮への効果は薄く、バブルの崩壊とともにこれらのロボットが用いられる機会は大幅に減少した。

一方バブルの末期に、高層ビルの建設において、各フロアの躯体の組立や資材の搬

図5-1　コンクリート床直仕上げロボット（鹿島建設）

（出典：鹿島建設株式会社のHPより）

第5章

送作業をシステム化し、地上レベルで組立を行いフロアの完成ごとにジャッキで上層階へ持ち上げるジャッキアップ式のビル施工自動化システムが誕生した。この高層ビルの自動施工システムは、工期の短縮、施工の安全性の確保が実現可能なことから、各ゼネコンの独自技術を織込み、また施工対象に適合させたシステムに発展して、今日の建築分野のロボットを代表する技術に成長している。ただし、ある程度以上の施工規模がないとコスト的に成立が難しく、頻繁に用いられる技術ではないことが惜しまれる。

参考文献

[1]　独立行政法人国立科学博物館，「技術の系統化調査報告第３集　国産ロボット技術発達の系統化に関する調査」，pp.65-67, 2005.

B）土木分野のロボット

土木分野のロボットは、土木施工の基本である土砂の掘削・運搬から、重量物の揚重、トンネル工事、水中工事、計測、災害対応、除雪、解体など、きわめて多岐にわたり、実用化事例も多数ある。しかし、わずかな適用回数だけで終わっているものも少なくなく、継続的に使われている土木分野のロボットはそれほど多くはない。ここでは近年急速に発展しビジネスとしての展開が期待できる鉱山無人化と多数の適用事例がある災害対応の無人化施工システム、そして　ICT（情報通信技術）の活用を取りあげる。

①　鉱山無人化システム

BRICsを中心とした諸外国の経済発展を背景に、鉱物資源への需要はかつてなく高い。現在世界の主要鉱山では、オペレータの確保や生産性の向上が急務となっている。また、より多くの資源を求めて、これまで開発が困難であった地帯にある資源の採掘が行われるようになり、これらの地域での効率的かつ安全な生産を実現するシステムの開発が望まれている。鉱山機械の無人化は比較的古くから試みられているが、GPSを用いた屋外位置同定と屋外無線LANによるデータ通信が容易になったことにより、近年急速に発展し部分的には実用レベルに達している。中でも（図5-2）に示すオフロードダンプトラックの無人走行システムはもっとも成功しているもののひとつである。

図5-2　鉱山用無人ダンプトラック（コマツ）

無人ダンプトラックの構想は1980年代の初頭にはすでにあり、1990年には国内鉱山で実証テストが試みられている。その後2000年代半ばに大型鉱山で実用導入されるまで

第5章

に、信頼性を含む数多くの技術課題を克服してきたことが成功に繋がったものと考えられる。また車両の運行や生産量を一元的に管理する鉱山管理システムが広く用いられるようになり、無人ダンプトラックの運用に適した状況が整ってきたことも背景のひとつである。無人ダンプトラックでは、アクセルのムダ踏みによる燃料消費やタイヤ摩耗が抑えられ、また運転手の効率が低下する深夜でも高効率な運行が可能である。さらに居眠り運転などによる重大事故の発生も防ぐことができる。このように無人ダンプトラックは有人車両に比べて総合的に生産性が高く、鉱山経営者に積極的な導入を促す大きな要因となっている。

② 無人化施工システム

遠隔操作の建設機械群を用いて遠隔地から施工を行う工法が無人化施工システムである。ラジコン操作の建設機械は1960年代から使われていたが、1994年雲仙普賢岳の除石工事に、建設省（当時）が無人化施工の試験フィールド制度を適用したことを契機に、システム化技術や画像伝送技術、無人での施工法などの開発が急速に発展した。現在は数km離れた距離からの遠隔施工が可能となっており、また実験的には100kmを超える距離での施工も試みられている。無人化施工システムは、有珠山の噴火災害対応、中越地震対応など、災害復旧工事を中心に、現在までに150を超える適用事例がある[1]。また2011年3月に発生した福島第一原子力発電所の事故の際に、汚染瓦礫の除去作業にいち早く導入され、同年4月初旬から稼働を開始した[2]。これは事故後の福島原発に適用された最初の日本のロボット技術となった（図5-3）。

参考文献

［1］ 建設無人化施工協会ホームページ，http://www.kenmukyou.gr.jp.
［2］ 日本機械学会，「東日本大震災合同調査報告　機械編」，pp.210-213, 2013.

図5-3　福島第一原子力発電所における無人化施工（東京電力）

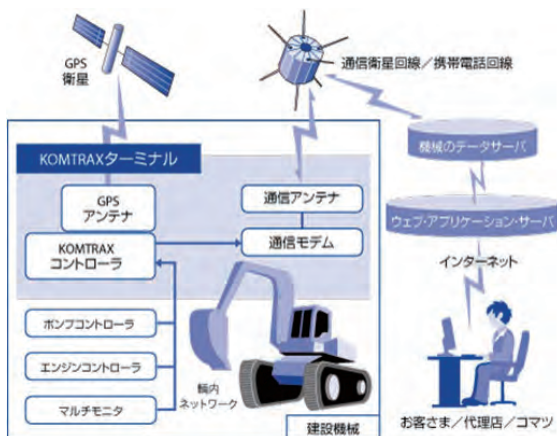
③ ICTの活用

建設工事の調査、設計、施工、監督、検査、維持管理という一連の工程において、ICTを使って得られる各工程の電子情報を活用することにより、建設施工プロセス全体における生産性

の向上や品質を確保するシステムを情報化施工システムと呼ぶ（図5-4）。欧州ではすでに道路工事などに広く用いられている。国内では、これまで大規模の土木工事などに適用が限定されていたが、国交省の牽引により、今後一般の土木工事にも急速に普及が進むものと予測されている。

図5-4　情報化施工システム（国土交通省）[1]

　また建設機械では、遠隔で機械の稼働状況や故障診断ができるモニタリングシステムの適用が進んでいる[2]。建設機械にGPSと情報発信端末を搭載し、衛星通信網あるいは携帯通信網を用いて、車体の位置情報や稼働状況、燃料消費量や水温、油圧などの各種情報を取得し、インターネットを介してユーザや販売店のサービス部門に提供するものである（図5-5）。この遠隔モニタリングシステムにより、車体の健全状況が遠隔でリアルタイムに把握できるようになり、故障の予防保全が可能となる。また車両位置情報の取得により、機械の配備計画や管理も容易に行うことができる。さらに機械の運転状況が把握できることから、ムダな燃料を使わない省エネ運転のリコメンドなども行えるようになっている。

図5-5　建設機械遠隔モニタリングシステム（コマツ）

参考文献

[1]　http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_tk_000017.html
[2]　荒川秀治、「KOMTRAX STEP2の開発と展開」，コマツ技報，Vol.48, No.150, PP.8-14, 2002.

（2）社会インフラ保全ロボット

「社会インフラ」とは、一般的に国や地方自治体が管理する「社会資本」と、電力・ガス・通信といった民間が管理する「ライフライン」、鉄道などの公共の「インフラ」のいずれをも含めた概念である。

A）国土交通省の政策

国内の社会インフラは、高度成長期に集中的に整備され、今後急速に老朽化が進むことが懸念されている。そのような中、国土交通省は平成25年5月に社会資本整備審議会・交通政策審議会において、「今後の社会資本の維持・更新のあり方について　中間答申」[1] をまとめた。

この中間答申の中では、維持管理・更新に関する様々な課題に対して、これまでのように個々の現場において着実に対応していくことはもちろんのこととして、今後目指すべき戦略的維持管理・更新に関する基本的考え方及び取り組むべき施策の整理を行った。

さらに、現在「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」にて、維持管理・災害対応（調査）・災害対応（施工）の3つの重要な場面におけるロボットについて、その開発・導入分野を明確化するなど実用化に向けた方策を検討している。

B）インフラ長寿命化基本計画

政府は平成25年11月にインフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議において、インフラの維持・管理の基本指針となる「インフラ長寿命化基本計画」[2] を策定した。

以下、概要を記す。

国民生活やあらゆる社会経済活動は、道路・鉄道・港湾・空港等の産業基盤や上下水道・公園・学校等の生活基盤、治山治水といった国土保全のための基盤、その他の国土、都市や農山漁村を形成するインフラによって支えられている。

我が国では、昭和39年に開催された東京オリンピックと同時期に整備された首都高速1号線など、高度成長期以降に集中的に整備されたインフラが今後一斉に高齢化する。例えば、今後20年で、建設後50年以上経過する道路橋（橋長2m以上）の割合は現在の約16%から約65%となるなど、高齢化の割合は加速度的に増加する。

これらのインフラの中には、建設年度や構造形式等の施設諸元や、劣化や損傷等の老朽化の進展状況など、維持管理に必要な情報が不明な施設も多く存在している。また、維持管理に係る基準やマニュアル等は管理者間でばらつきが存在するほか、国・地方を通じ職員定数の削減が進む中、地方公共団体の中には維持管理を担当する技術職員が不在、若しくは不足している団体も存在するなど、制度や体制についても、我が国全体として十分とは言えないという指摘もある。このような現状に至った背景には、戦後、短期間で集中的にインフラ整備を進める必要があったことや、経年劣化や疲労等に伴う損傷はその進行速度が遅く、問題が顕在化するまでに長期間を要するため必要な措置が講じられてこなかったことなどが考えられ、一刻も早く取組を開始する必要がある。

一方、インフラ長寿命化に資する新技術の研究開発・実証やその導入も重要であり、国として戦略的に推進していく必要がある。センサやロボット、非破壊検査技術等、劣化や損傷状況等の様々な情報を把握・蓄積・活用する技術は、研究機関や産業界を中心に開発が進められており、これらを維持管理に活用することで、インフラの安全性・信頼性や業務の効率性の向上等が図られることが期待される。

今後、約800兆円に及ぶインフラストックの高齢化に的確に対応するとともに、首都直下地震や南海トラフ巨大地震等の大規模災害に備え、成長著しいアジアの新興国との競争に打ち勝ちながら世界の先進国としてあり続けるためには、国土、都市や農山漁村を形成するあらゆる基盤を広く「インフラ」として捉え、これまで以上に戦略的に取組を進めることが重要である。

このため、国民の安全・安心を確保し、中長期的な維持管理・更新等に係るトータルコストの縮減や予算の平準化を図るとともに、維持管理・更新に係る産業（メンテナンス産業）の競争力を確保するための方向性を示すものとして、国や地方公共団体、その他民間企業等が管理するあらゆるインフラを対象に、「インフラ長寿命化基本計画」を策定し、国や地方公共団体等が一丸となってインフラの戦略的な維持管理・更新等を推進する。

また、同時にロードマップ[2]も示され、安全で強靭なインフラシステムの構築を目指して、フィールドロボットに関連するものとして以下の目標が示された。

- 2020年頃を目途に、国内の重要なインフラ・老朽インフラの20％でセンサ、ロボット、非破壊検査技術等の活用により点検・補修を高度化
- 2030年頃を目途に、国内の重要インフラ・老朽インフラの全てでセンサ、ロボット、非破壊検査技術等を活用した高度で効率的な点検・補修を実施
- メンテナンス産業によるインフラビジネスの競争力強化の目標として、2030年頃を目途に、点検・補修等のセンサ・ロボット等の世界市場の3割を獲得

参考文献

[1]　今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について　中間答申：国土交通省
http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/sogo03_sg_000033.html
[2]　インフラ長寿命化基本計画：インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議
http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/infra_roukyuuka/pdf/houbun.pdf

（3）プラント保全分野（プラントメンテナンス分野）

プラントメンテナンスとは、機械類の複合体からなる製造プラントの性能維持・改善を目的とする、設備管理、保全、改修などの技術サービスの総称である。プラントメンテナンスは産業全体の生産性の維持向上に重要な役割を担っている。製造プラントの業種は多岐にわたり、石油、石油化学、製鉄などの素材型業種から電気機械、自動車などの加工型業種までを含むが、本項では石油精製プラントに注目してロボットの必要性、ニーズなどについて示す。

最近のマスコミ報道でも取り上げられたが、石油精製プラントと石油化学プラントなどが連携している石油コンビナートでは、事故の増加が懸念されている。（図5-6）に消防庁が公表した平成24年度までの事故数の推移を示す。（図5-6）より、昭和50年の石油コンビナート等災害防止法施行後は減少傾向にあったが、平成6年から増加傾向に転じ、平成18年に急増した事がわかる。その後、平成20年、平成21年と2年連続して減少したが、依然高い水準にあり、

平成24年は地震事故を除くと過去最大となった。このような事故増加の現状を踏まえ、石油精製プラントでは、事故を未然に防ぎ、安全・安定操業への対応が喫緊の課題となっている。

事故増加の要因として、「プラント設備の高経年化」と「ベテラン保全員の減少」があげられている。「プラント設備の高経年化」とは、石油精製プラントが高度経済成長期に建設され、設備年齢は30年から50年を超えるプラントもあり、設備の経年劣化が否めない状況にあることを示す。設備の老朽化を示す指標には、ビンテージ（設備の平均年齢）が知られているが、石油精製プラントはビンテージが高い。石油精製プラントなどの素材型業種は、新製品、製品高度化の余地が少ないため、物理的耐用年数まで設備を使用するためと考えられる。ただし、適切なメンテナンスが実施されれば、高経年化していても経年劣化によって事故が発生する前に点検作業によって検知し、補修・改修などの対応ができる。

図5-6　石油コンビナートでの事故

（出典：石油コンビナート等特別防災区域の特定事業所における事故概要〈平成24年中〉、消防庁特殊災害室）

一方、「ベテラン保全員の減少」とは石油精製プラントの年齢構成上の課題である。バブル崩壊後の10年間は石油業界においても厳しい時代であり、機械系・電気系の新卒採用を抑制したため、結果的に現時点で30歳から40歳の中堅不足が顕在化しはじめている。そのような背景の中、団塊の世代が退職し始めたことによるベテラン社員減や若手社員への技術伝承の遅れ等による認知ミス・誤操作によるトラブル増加、装置老朽化に伴う事故の増加が顕在化している。

（図5-7）に石油コンビナートでの事故の主原因の分類結果を示すが、「プラント設備の高経年化」と「ベテラン保全員の減少」が主原因となった事故は全体の6割を超えていることがわかる。

「プラント設備の高経年化」と「ベテラン保全員の減少」の課題を克服し、石油精製プラントの安全・安定操業の実現について石油業界内の様々な研究会等で検討がなされているが、施策のひとつとしてプラントメンテナンスの自動化（省人化）がある。プラントメ

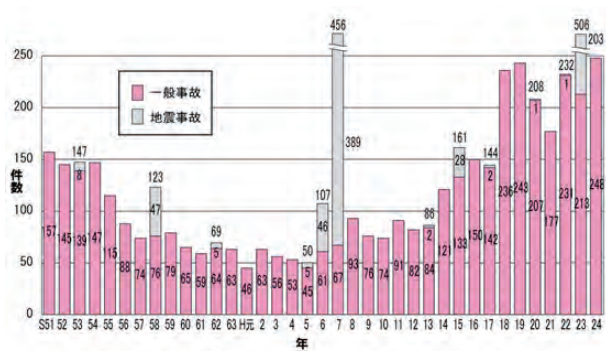
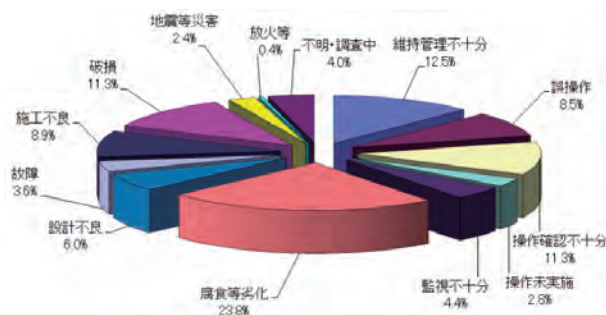



図5-7　主原因別の事故発生状況

（出典：石油コンビナート等特別防災区域の特定事業所における事故概要〈平成24年中〉、消防庁特殊災害室）

ンテナンスの自動化はプラント設備及び運転管理の高度化に寄与し、安全性、経済性の観点から、将来にわたり基盤を支える重要なテーマとされている。

このような状況で、プラントメンテナンス作業をロボット化する考えは以前からあり、一部実用化されている。プラントメンテナンスには、前述したように設備管理、保全、改修などの分野があるが、点検作業と補修・改修工事がロボット化の対象になると考えられ、前者はロボット導入の検討段階の技術もあり、後者はこれからロボット導入が期待される分野である。石油精製プラントは2年または4年毎の定期修理で停止する以外は24時間連続の運転を行っており、点検作業とは、日常点検（3〜4回/日）と定期点検（定期修理時）がある。

石油精製プラントの設備は、広大な敷地の中に多数の巨大な円筒状（高さ：〜50m程度）の反応装置群やタンク群があり、それらをプラントの血管と称される配管によって繋いでいて、原油から製品までを移動させるために多数のポンプ類が設置されている。ほとんどの装置が鋼製であり、高温で高圧の機器が多く、内表面は石油化学製品に接触し、外表面は屋外の雨水に晒されているために内外表面のいずれもが腐食環境にある。そのため、適切なメンテナンスが施されていないと装置材料の腐食減肉などが発生して液ガスの漏洩に至る場合もある。

点検対象はプラント内に複雑に設置された装置群全てであるが、点検作業の環境は高所、狭隘、高温、危険エリアの場合も多く、作業員が点検箇所へアプローチが出来ない箇所や、アプローチする為に付帯作業が必要な箇所、作業の効率化が大幅に向上する箇所などにロボットの適用のニーズがある。例えば、アプローチできない箇所としては、供用中のタンク、配管、高温機器の中や危険なガス環境（人体毒性、爆発性など）があげられる。アプローチするために付帯工事が必要な箇所としては、高所（2m以上）に作業員がアプローチする為には足場を設置する必要があるが、足場架設には時間もコストもかかるので、ロボットによる作業が期待される。作業の効率化が大幅に期待される箇所としては、広大なタンクヤードのタンク群や長距離の配管の網羅的な点検などが考えられる。1つの石油精製プラントの配管の総距離は数百km〜千km程度と非常に長い。

（4）農業分野

近年、日本の農業は多くの厳しい課題に直面している。第一にTPP交渉に見られるように厳しい外圧を受けており、大幅なコストダウンと品質向上、安全性の保証などによる国際競争力の強化が求められている。第二に現在の食糧自給率はカロリーベースで約39%と先進国では最低水準にある。農林水産省はこれを50%に改善することを目標にしているが回復の兆しは見えない。これは食料安全保障上深刻な状況である。第三に耕作放棄地の増加による農地の荒廃がやまない。農地の役割は食料生産だけではなく、景観や環境保全上も重要な役割を果たしている。水田はその貯水機能により水害の抑制にも貢献しているといわれており、農地の保全が必要である。第四は農業従事者の急激な減少と高齢化であり、これがもっとも深刻な問題である。（**図5-8**）に日本の年齢別基幹的農業従事者数の推移を示す。これは農業従事者のうち、

主たる仕事が農業である世帯員数の合計である。従事者数が急激に減少し、かつ高齢者の割合が顕著に増加していることがわかる。

一方で、日本の農業技術は世界トップレベルにある。稲はもともと熱帯植物であったが､品種改良を重ね、北海道でも非常に高品質の米が生産されるようになった。一部の果菜類は芸術品に近く、高値で輸出されている。品質と安全性の点では日本の農産物は高い競争力を持っている。

図5-8　日本の年齢別基幹的農業従事者数

（出典：農林業センサス累年統計[1]）

このような状況で農作業を自動化、ロボット化する考えは以前からあった。外見からはわかりにくいが最近の農業機械は電子制御技術が数多く取り入れられて自動化が進んでいる。一部の農業機械については、技術的には無人機械（ロボット）による作業が可能な段階に達している。農業にロボットを導入する目的は、省力化と安全性である。就農者が高齢化して農業を継続できなくなる農家が増えており、農地の集約による経営規模の二極化が進みつつある。自らも広い農地を所有し、また受託作業も積極的に行う先進的な大規模農家あるいは組織化された営農団体と、小規模の第二種兼業農家である。前者では一般に相当の収益があり、所有する農業機械の台数も多い反面、熟練したオペレータの不足が問題となっており、多少高価であってもロボットが導入される可能性がある。今後は少子高齢化により後継者不足が一層深刻になって、農地の集約が進むと予想される。また大規模化による省力化と低コストが求められているが、大規模化には限界があり、ロボットの導入による省力化が期待される。一方後者では、高齢者でも楽に扱える機械、サラリーマンが短時間で作業をこなせる機械、中山間地や小規模圃場に適した機械などが求められている。農作業時における死亡事故は年間400件程度でほぼ一定に推移している。農業機械の安全性は年々向上しているのに死亡事故が減らないのは、従事者の高齢化によるといわれている。刈り払い機による斜面の草刈り作業などは、死亡事故こそ少ないものの危険な作業で怪我の件数が多い。このため遠隔操作や無人機械の導入が期待されている。

参考文献

[1]　農林水産省，農林業センサス累年統計，2011.

（5）フィールドロボット

フィールドロボットは、狭義には屋外環境で稼働しているロボット、広義には屋外、もしくは、屋内外で活動する遠隔操作機械として定義される。したがって、自動運転車は、広義のフィールドロボットとみることができる。しかし、自動車は、その枠内で大きな市場を形成しているので、従来自動車の延長線にある自動運転車等は、主たる対象としないが、以下に記載する新しい社会創造の観点では、避けてとおれないものではある。

特殊な環境下で遠隔操作される機械や自動搬送車は、屋外作業の一部には使用されており、フィールドロボットの歴史は産業用ロボットに比べてもそん色のない歴史をもっている。しかし、期待の大きさにも関わらず、本格的な市場投入は、これからという状況にある。その理由は、要求される機能が高度である反面、ロボットの経済的貢献が少ないというジレンマが解決されていないことに起因する。したがって、フィールドロボットのこれからの市場を考えるときは、ロボット単独での市場を考えるのでなく、ロボットが必要とされる社会の到来、もっといえば、現代が抱えている安心・安全の確保、少子高齢化、環境保全等の様々な課題を解決できる社会つくりに新しい解答を与えるものの一環としてのフィールドロボット・ロボットシステムという観点が肝要である。ここでは、現代社会の課題を本質的に解決でき、その社会つくりとともに歩む屋外活動ロボット、遠隔操作機械の市場形成の観点で概観する。

上記の考え方に立ち、フィールドロボットは、以下の7つの観点に焦点化してまとめ、そこからなるべく多くのことが類推できるように配慮する。

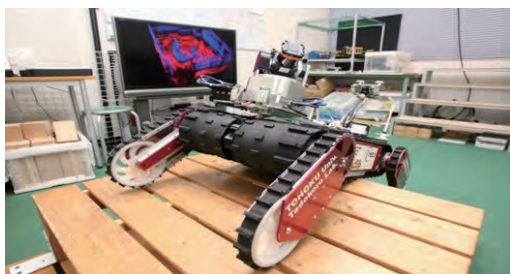
A）地上移動ロボット（Unmanned Ground Vehicle; UGV）

移動方式として、車輪、クローラを用いる移動ロボットであり、危険性が高く人が災害現場に入れない場所で、現場の状況を調べ、作業を行うことを目的としている。主としてプラントなどで危険物質の漏洩や爆発のおそれがある場所、地下街・高層ビル・下水内などの閉鎖空間、崖崩れ・土石流・火砕流などのリスクがある場所、テロや犯罪のケースなど、人間では二次災害の危険性が高い現場でのニーズが高い。

小型ロボットとしては、車輪型やクローラ型のUGVが実用化され、東日本大震災では

図5-9　PackBot（iRobot）

図5-10　Quince（東北大、国際レスキューシステム研究機構、千葉工大）

第5章

PackBot（図5-9）やQuince（図5-10）などが福島第一原発事故の原子炉建屋内調査に活用された。大型ロボットの代表例は無人化施工建機であり、雲仙普賢岳等での実績がある。

B）脚型ロボット

2脚、4脚、6脚などの足による移動方式であり、車輪やクローラでは走破が困難な状況で、現場の状況を調べ、作業を行うことができる。たとえば、プラントで梯子の昇降が必要なケース、地面に走っているパイプラインや障害物をまたぐ必要があるケース、ロボットのボディ長の1/2以上の長さのギャップがあるケース、瓦礫や被災建物等で数十cm以上の高さの段差を登ったり降りたりする必要がある場合、などが該当する。

脚型ロボットは、傾斜地の作業を行うものや、不整地での運搬用として研究開発されてきたが、特殊建設機械などを除いては実用化・現場配備されたものは少ない。歩行の安定性の問題などは解決されてきており、BigDogやTAITAN IVなど、性能面では実用化が近づいている研究開発ロボットもあり、東芝の4脚ロボット（図5-11）のように福島原発の現場に投入されたものもある。

図5-11　4脚ロボット（東芝）

（出典：東芝のHPより）

C）パワースーツ型ロボット（Exoskeleton）

作業員が装着し、作業力を拡大するためのパワースーツであり、災害現場で重量物の運搬や重量物の組み付けなどの工事作業を行う人間の作業を支援する。海外ではエクソスケレトンと呼ばれ、1950年代から多くの研究開発がなされている。特に、DARPA Exoskeletonプロジェクトなどによって兵士が重量物を運搬する負荷を軽減するために実用化が進み、XOS Exoskeletonなどが開発されている。日本ではサイバーダインによるHALの研究開発がもっとも知られ、歩行障害者の支援やリハビリを目的とした商品化がなされている。

5-1

～DARPA Robotics Challenge～

米国DARPA（米国防高等研究計画局、Defense Advanced Research Projects Agency）は、これまでも無人カーレースなどの様々なコンテスト形式のロボット開発プロジェクトを実施してきたが（**図表1**に例示）、2012年4月に、災害事故時のロボット活用を想定したチャレンジプログラム（DARPA Robotics Challenge、DRC）を発表した[1]）。

図表1　これまでにDARPAにより実施されたコンテスト形式のロボット開発プロジェクトの例

プロジェクト名	内容	実施方法(*1)	予算($ in Millions) FY2009	FY2010	FY2011	FY2012	FY2013	FY2014	実施期間	合計(概算)
Autonomous Robotic Manipulation(ARM)プログラム	・高い自律性を持って多様な作業を行えるマニピュレーター開発プログラム ・器用な指先を持ったロボットによる危険な場所で道具を使って人間同様の作業ができることを目指す。 ・ハード、ソフト、広報の3部門があり、ハード部門は3～4本の指と手のひらを利用して多様な機能を果たすローコストなロボットハンドの実現を目指す。 ※現在5万＄のロボットハンドの3千＄（1000個以上製造のケース）までの低減を目指す。	Program		16.49	20.472	11.36	9.542	3.503	FY2010 ～ FY2014	61.367
Maximum Mobility and Manipulation（M3）プログラム	Goal1:DARPA Robotics Challengeのロボットに対する高効率の駆動技術の開発と実証 Goal2:DARPA Robotics Challengeのプラットフォームにおけるアクチュエータの効率改善	Cost Sharing/Matching	Goal1:最大5.0/project Goal2:最大1.0/project						FY2012 ～ FY2014	最大(*2) 105
Legged Squad Support System（LS3）プログラム	兵士の後を自動的に追いかけ、荒れ地であっても歩行が可能な四足歩行の運搬用ロボットの開発 ※DARPAは2014年に1号機を海兵隊に引き渡す計画。	Program	3	8.776	16.083	18.558	13.331	5	FY2009 ～ FY2014	61.748
DARPA Robotics Challenge（DRC）プログラム	・危ない、劣化した環境で、複雑なタスクを実行するロボットの能力を開発することを目指す。 ・ハード設計から実施するコース、ソフトウェアシミュレーションのみのコースもあり、オープンソースのシミュレーターが提供される。 ・作業員のオペレーション訓練なしに容易に理解でき、直観的なコントロール、自然災害と業務災害に対する回復、テロ行為に対するインフラストラクチャーの回復力の増加を目指す。	Event				15.447	18.862	17.951	FY2012 ～ FY2014	52.26
DARPA Grand Challenge（2004、2005）、DARPA Urban Challenge（2007）	・DARPA Grand Challenge（2004年、2005年にモハーヴェ砂漠で開催）、およびDARPA Urban Challeng（2007年に市街地を想定して開催）は、長距離無人の自動車レースである。2004年は完走無し。2005年は5台が完走した。2007年のUrban Challengでは総延長96 kmを6時間以内に6チームが完走した。	Event	2004：Foundational Learning Technology（11.112） 2005：Learning Locomotion and Navigation（12.038） 2007：Robust Robotics（16.311） の各プログラムでサポート ()内はプログラム全体の予算(＄in Millions)						FY2004, FY2005, FY2007	左記

（＊1）Program:　課題設定型の研究開発プロジェクト
Cost Sharing/Matching:　大学、民間等の研究成果を活用した実用化研究
Event:　防衛上の課題について、競技形式で問題点と解決策の明確化、技術水準の向上を図る方法
（＊2）21プロジェクト（機関連合）と契約したが、個別プロジェクトの詳細は未公開のため、すべてがGoal1を対象としたと仮定した場合、$105Mが最大となる。

参考：http://www.darpa.mil/WorkArea/DownloadAsset.aspx@id=2147486441.pdf
https://www.fbo.gov/utils/view?id=c2ec611a24dc91ac01846694a757062d
http://phys.org/news/2013-10-boston-dynamics-atlas-wildcat-sprints.html
http://www.darpa.mil/NewsEvents/Releases/2013/07/11.aspx
http://www.nikkei.com/article/DGXNASFK2500J_V20C13A3000000/
http://www.darpa.mil/NewsEvents/Releases/2011/2011/03/17_DARPA_Kicks_Off_Maximum_Mobility_and_Manipulation_M3.aspx

DRCは、東日本大震災後の東京電力福島第一原子力発電所の事故を踏まえて企画されたもので（「福島の原子力事故」との言葉がDRCの説明書に明記されている[2]）、DARPAからの資金提供や、独自資金によって参加し、DARPAが指定する複数ミッションを克服するロボット開発を進めながら最終競技（当初計画では2014年12月の予定）で勝ち抜けば、事業化に向けた資金（2百万ドル）が得られる仕組みとなっている。

DRCは、当初計画上は実施期間が2012年度～2014年度であり、海外からの参加も可能である。開発の目的として、危険で機能低下した人工的環境（被災した産業施設のこと）で複雑な任務を実行する陸上移動ロボット（二足歩行ロボットとの指定はない）の能力向上や人間用ツール（手工具から乗り物まで）を利用するロボットに着目して、自律性、移動体への乗降、機動性や強度、プラットフォームの耐久性等の重要なロボット技術の向上を図り、かつ、原子力発電所事故を踏まえた実用面の重視策として、通信環境が劣化した状況での専門家以外の操作者の負荷低減や効果的な操作が可能な自律ロボットの開発を目指している。

研究フェーズは大きく二つに分かれ、Kick-offから15か月目（フェーズ1）に最初のDisaster Response Challenge（2013年12月、Trials 2013と呼ばれる）を行った後、Final Challengeを同27か月で（フェーズ2、2015年6月に実施）に行うものである。競技の種目は4種目（Track A～D）あり、Track Aは競技者自身がハード・ソフトの両システムを開発・提案し、Track Bは競技者が操作ソフトのみの開発（ハード開発なし）を提案して参加してシミュレーションで勝者を競い、Track Cでは競技者は自らの費用で操作ソフトのみの開発（ハード開発なし）を提案して参加してシミュレーションで勝者を競い、Track Dは競技者がハード・ソフトを全て自らの費用で開発し競技に参加することとなっている。また、政府指定のSimulator（GAZEBO）の使用とともに米国発ロボット用オープンミドルウェアROSを開発・推進しているOpen Source Robotics Foundation（OSRF）が関与する仕組みもしっかり組み込まれている。

競技種目は、（**図表2**）のとおり8つである。

図表2　DARPAが指定する各競技の内容

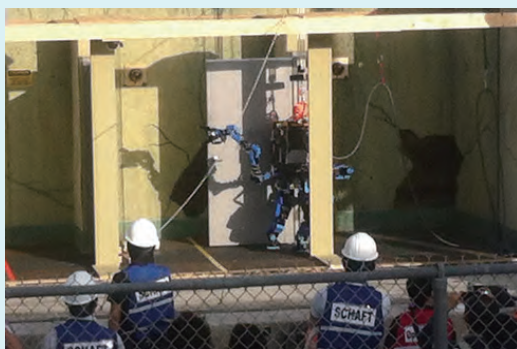
1. Drive a utility vehicle at the site.（サイトで作業車を運転）
2. Travel dismounted across rubble.（降車してガレキ中を移動）
3. Remove debris blocking an entryway.（入口への通路の障害物除去）
4. Open a door and enter a building.（ドアを開けて建物に進入）
5. Climb an industrial ladder and traverse an industrial walkway.（業務用梯子を登り、作業通路を縦断）.
6. Use a tool to break through a concrete panel.（道具でコンクリート壁を打破）
7. Locate and close a valve near a leaking pipe.（漏洩パイプ付近のバルブ特定・閉止）
8. Replace a component such as a cooling pump.（冷却ポンプ等の部品交換）

筆者は、このDARPAチャレンジの競技（DARPA Trials 2013）を現地会場（Miami Speedway）において実際に調査した（2013年12月）。すでに報道されているとおり、参加16チームのうち東京大学から飛び出したSchaft社（**図表3**、2013年12月にGoogleが買収を発表）が27点（満点は32点=4点×8種目）を獲得し、2位（IHMC ROBOTICSの20点）以下に圧倒的な差をつけて優勝した。（**図表4**）にTrials 2013の最終スコアとチーム構成を示す。技術面では、事前の調整や競技本番でもロボットの駆動スピードがかなり遅く、「時間切れ」となるチームが見られるなど、技術的なハードルの高さや一部の準備不足のチームの存在（ほとんど動かなかった米国の某有名機関のロボット）など

第5章

があった。様々な競技内容に応じて、限られた期間でロボット本体やそのためのソフトウェアを組み上げていく作業は相当に困難であったことも容易に想像できる。

DRCは、ロボット技術面での話題を集めただけでなく、日本にとっても研究や投資の環境、研究支援制度等の様々な課題を考えさせられる契機になったともいえる。例えば、このプロジェクトが日本で最初に実現しなかったこと(元々は、日本のある有名なロボット研究者が持っていたこのプロジェクトのアイデアを官庁に持ち込んだが受け入れられず、海外でアイデアを披露した際にDARPAの目にとまったと言われている。)。

図表3 ドアを開ける競技に参加中のSchaft社

図表4 Trials 2013の最終スコアとチーム構成

TEAM	TEAM LEAD	SCORE
SCHAFT	SCHAFT, Inc.	27
IHMC ROBOTICS	Florida Institute for Human & Machine Cognition	20
TARTAN RESCUE	Camegie Mellon University	18
MIT	Massachusetts Institute of technology	16
ROBOSIMIAN	NASA Jet Propulsion Laboratory	14
TRACLABS	TRACLabs, Inc.	11
WRECS	Worcester Polytechnical Institute	11
TROOPER	Lockheed Martin Advanced Technology Laboratories	9
THOR	Virginia Tech College of Engineering	8
VIGIR	TORC Robotics	8
KAIST	Rainbow Co.	8
HKU	University of Hong Kong	3
DRC-HUBO	Drexel University	3
CHIRON	Kairos Autonomi	0
NASA-JSC	NASA Johnson Space Center	0
MOJAVATON	Mojavaton, LLC	0

DARPAが2012年4月にはプロジェクトとして素早く立ち上げたこと、DARPAという組織と日本の大学による共同研究の難しさ(大学研究の限界や、いわゆる「軍事アレルギー」等の問題)、軍事と有事、平時に対応する研究やその国レベルでの推進体制、DRCに日本から参加するために設立されたSchaft社への支援の輪が徐々に広がっていたがGoogleによって買収されたことで日本の投資環境や研究支援制度の在り方が問われたこと、ロボット開発における大企業の限界、コンテスト形式が有する技術向上の潜在的パワー、頭脳・技術流出の問題、自国発のオープンソフトウェアを普及させるための米国の取り組み、Schaft社がTrials 2013では優勝したが、種目別では一位にならなかった競技もあったこと(他チームにも挽回の可能性が十分あること)なども考えさせられることとなった。また当初は、DRCに関心が無かった方々や、Schaft社を知らなかった方々(Schaft社が資金面で苦労していた時期を知らない方々)が報道でSchaft社

の活躍を知ってから急にSchaft社を持ち上げようとする姿には歯がゆい思いも禁じ得なかった。これらからは、日本の研究開発プロジェクトが未だに米国をお手本とせざるを得ないことや、日本でのベンチャー企業への支援の難しさ（実績主義）などが垣間見えるのではないか。

なお日本では、コンテスト形式や軍事関連ではないが、「ロボット介護機器開発・導入促進事業」が経済産業省によって開始され（2013年度～）、採択された事業者は、経済産業省と厚生労働省が指定する重点開発分野における必要な条件を満たしつつロボット介護機器の開発を進め、ステージゲート審査を経て開発継続に生き残っていく形式のプロジェクトが進められており、DRCを参考に、課題先進国とも言われる深刻な高齢社会にある日本の独自の取り組みとして注目されている。

DRCは、我が国においても今後の技術的発展と関連ビジネスの拡大や、安全・安心でレジリエントな社会の構築に貢献する災害対応ロボット、フィールドロボット、サービスロボット等の効果的な研究やビジネス展開を活性化させる支援制度とその目標設定、実施体制等について考えるための参考にすべき例と言え、今後のDRCの成果は注目に値するだろう。また、今回の競技種目（8種）、競技のシチュエーションや進め方、競技参加者のパフォーマンスと競技の判定方法等は、災害ロボットをより実用的に向上させるための貴重なノウハウでもあることから、災害ロボットの機能・性能等の規格化・標準化にもつなげることで、その標準がロボットの開発側とユーザ側の国際的な共通言語にもなってロボット技術のさらなる向上やよりユーザ側の視点に立ったロボット開発、災害対応ロボットの更なる普及などにも貢献することに期待したい。

参考文献

[1] DARPA Robotics Challengeサイトではこれまでに公表された各種の資料等を掲載しているので適宜ご参照されたい。例えば幾つか例示すればhttps://www.fbo.gov/index?s=opportunity&mode=form&id=ee8e770bcfe1fe217472342c67d6bd5a&tab=core&_cview=0やhttp://www.darpa.mil/Our_Work/TTO/Programs/DARPA_Robotics_Challenge.aspx等のサイトをご参照。
[2] Broad Agency Announcement, DARPA Robotics Challenge, Tactical Technology Office（TTO), DARPA-BAA-12-39, p4, April 10, 2012

真野 敦史（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）

D）飛行ロボット（Unmanned Aerial Vehicle; UAV）

小型のヘリコプタや固定翼機であり、広域の災害情報収集や、高い場所、道路でのアクセスが困難な場所の調査に使用される。

全長数mの小型ヘリは実用化され、ヤマハRMAXなど火山災害などへの適用事例が多数あり、配備の実績もある。都市部や重要施設の上空では墜落事故の危険性が指摘され、地上に人がいる場合には飛行できる範囲が限定され、目視不能な遠距離での使用は限定されている。模型ヘリに分類される全長数十cm、重量数kgの超小型多ロータ型ヘリ（図5-12）は最近になって実用性が高まり、主として撮影機材として急速に普及が進んできている。墜落時の安全性は比較的高く、安価な製品も多数出てきているため、災害への適用のバリアは低く、数百m四方以内のエリアの概観情報収集や、高所をゆっくりと移動・静止しながらの目視点検などへの適用が期待されている。模型飛行機に分類される全長数十cmの超小型固定翼機も上空からの災害情報収集のために実用化されつつある。安全性、風の影響、搭載可能重量などが課題である。

図5-12　ヘキサロータ型超小型無人ヘリ（エンルート）

（出典：エンルート社ウェブページより）

E）壁登りロボット

大型構造物（ビル、産業設備など）の高い場所を、視覚や非破壊検査装置によって調査する。足場を組む方法と比べると、短時間に低コストで点検が可能であり、鋼構造配管の検査ロボット、壁のタイル検査ロボット（図5-13）などが実用化、販売され、使用されている。しかしながら、複雑な形状の壁や、管路のフランジなどの障害物での移動能力は、現在のところ限定的である。

図5-13　壁のタイル検査ロボット（東急建設）

（出典：東急建設ウェブページより）

F）狭所進入ロボット

倒壊した構造物や構造物の入り組んだ場所について、視覚やセンサによる調査を行う。直径500mm以下の配管については有人検査が不可能であるため、ファイバースコープや配管検査ロボットが実用化され、販売・使用されているが、細径管や屈曲部においてはロボットの移動そのものが困難であり、被災した配管のように著しく変形、あるいは、傾いた管路の検査は大

変困難なのが現状である。災害での倒壊瓦礫に関しては、能動スコープカメラ（図5-14）が事故原因調査などの実績を持っているが、運動能力の不足や、瓦礫内での位置特定などの問題点を有している。

G）水中・水上ロボット

水害や水難事故の際に水中・水上の調査・点検を行うためのロボットで、ケーブルを有して岸壁や船の上から遠隔操作する水中ロボットROV（Remotely Operated Vehicle）や水上を遠隔操作で航行する水上ロボットUSV（Unmanned Surface Vehicle）が配備され、多数の災害使用実績がある。東日本大震災では、RTV（三井造船）、SARbot（図5-1
SeaBotix）、Seamor-300（Seamor Marine）などのロボットが行方不明者の捜索や海底調査に使用された。

図5-14　能動スコープカメラ（東北大学、国際レスキューシステム研究機構）

（出典：国際レスキューシステム研究機構）

図5-15　Seamor-300（Seamor Marine）

（6）原子力分野におけるロボット技術のニーズと市場

原子力分野では、放射性物質を扱ったり、高放射線環境下で行わなければならない作業が存在するために、作業員の被曝を防止・低減させる上で、ロボット技術を適用し、遠隔操作によって作業を行うニーズが多く存在する。放射性物質は、原子力研究施設のみならず、放射性同位体（放射性同位元素）（RI: Radioisotope、Radioactive Isotope）として、医療、化学など様々な分野で広く用いられており、その取り扱いにおいては厳格な管理が求められている。

原子力関連研究施設において、当初から存在したニーズは、ホットセル（ホットラボ内で放射性物質を取り扱う閉鎖空間）内での放射性物質のハンドリングである。放射性物質のハンドリングは、放射線量の低いホットセルの外部からマニピュレータを用いて行われる。原子力分野では、原子力プラントや核燃料再処理施設をはじめとする様々な施設において、放射性物質のハンドリングが必要となるので、それぞれのニーズに応じた遠隔操作機器の開発、導入が行われてきた。

一方、原子力発電所をはじめとする原子力施設では、設備運用の際の監視、点検（ISI: In-Service Inspection）、保守などにおいて、高放射線環境下で行わなければならない作業が多く存在し、ロボット技術活用のニーズが高かった。プラント稼動時には、格納容器内に人が立ち入ることができないために、格納容器内部の監視、情報収集のためのロボットの導入が求められた。カメラや線量計などの計器を多数設置するにしても、格納容器内の環境を網羅しきれないこと、コストがかかることなどから、ロボットの活用が有効である。また、定期点検時においても、高放射線環境下での保守作業が多く存在するために、遠隔操作による保守点検用ロボットや自動的に保守を行うロボットなどの開発・導入が求められている。原子力発電所以外にも、放射光施設など、加速器を有する核物理学研究施設でも高放射線環境が存在し、保守作業などにおいて、ロボットや遠隔操作機器のニーズがある。

また、原子力施設の廃止措置においても、解体などの作業でも、ロボット技術のニーズが存在する。日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構JAEA）が動力試験原子炉JPDR（Japan Power Demonstration Reactor）の解体を行った際にも、原子炉本体部を解体するための遠隔解体工法・解体機器システムが開発された。JAEAは、新型転換炉「ふげん」の廃炉作業も進めているが、今後、原子力プラントの老朽化にともない、商業炉の廃炉・解体が増加することが予測され、それにともない、廃炉・解体のためのロボット、遠隔操作機器のニーズも拡大すると考えられる。

一方、2011年3月11日に生じた東日本大震災と津波によって、東京電力福島第一原子力発電所の事故が発生した。この事故への対応、及び廃炉にむけての中長期措置において、極めて多様で重要なロボットや遠隔操作機器のニーズが発生した。事故発生直後、原子炉建屋の周辺は放出された汚染物質により放射線量が非常に高く、作業員が接近することも非常に困難な状況であり、様々な場面でロボットなど遠隔操作可能な機器の活用が求められた。事故直後の緊急対応におけるロボットや遠隔操作機器のミッションは、状況把握、原子炉や使用済み燃料プールの冷却とその安定化、汚染物質の封じ込め、瓦礫の除去による作業環境改善などであったが、冷温停止後（平成24年1月以降）は、廃炉に向けた使用済み燃料プールからの燃料や燃料デブリの取り出しに移行している。緊急対応、及び廃炉措置におけるロボット技術活用の具体的ニーズは、注水冷却、建屋内外の調査（映像による把握、放射線量、温度、湿度、酸素濃度等の計測）、瓦礫除去、機材の運搬・設置、サンプル（ダスト、汚染水、燃料デブリなどのサンプル）の採取、遮蔽、除染など、非常に多岐に渡った。その作業内容のみならず、場所、環境条件も非常に多様であり、この多様なニーズに対し、これまでに様々なロボット技術が投入されており、これから廃炉に向けて、さらなるロボット技術の開発・投入が求められている。

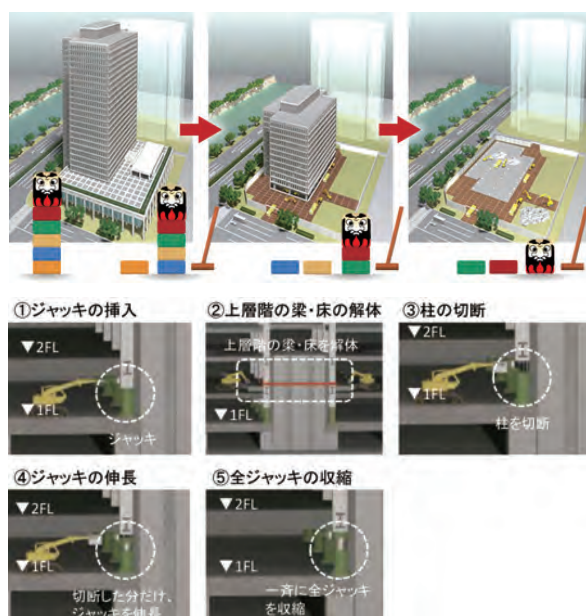
原子力分野のロボット技術のユーザは、電力事業者、原子力関連研究機関、国や自治体の原子力災害対応関連部署などであり、その市場も、それに応じて存在する。福島原発の廃炉措置に加え、福島の原発事故以来、今後起こり得る原子力事故に対する備えに関する意識も高まっており、電気事業連合会は原子力緊急支援組織を福井県内に設置することを計画している。それを受け、日本原子力発電が敦賀市に原子力緊急事態支援センターを設置し、数種類の事故対

応用ロボットを配備するとともに、オペレーションの訓練を行うなど、有事の際の緊急支援体制を整えつつある。今後も、ロボットなどの遠隔操作機器の拡充が計画されており、このような「備え」としての体制作りが日本全国で活発化すれば、原子力事故対応用のみならず、災害対応用ロボットの市場も徐々に拡大することが期待される。

5.1.2. 技術

(1) 建設分野

近年の建築分野のロボット技術で着目すべきものにジャッキアップ工法を逆方向に利用したビル解体工法がある[1]。この工法は、地上階に設置したジャッキで建物を支持し、1階部分の解体が終わる毎にジャッキを下降させ、「だるま落とし」のように下層階から解体していくものである（図5-16）。これまでの重機を用いた上層階からの解体工法に比べ、環境性、安全性がはるかに高く、今後の都市インフラの再構築において注目される技術と考えられる。

図5-16　環境配慮型ビル解体工法（鹿島建設）[1]

鹿島カットアンドダウン工法：地上階で解体作業を実施し、フロアをジャッキダウン

参考文献

[1] 鹿島建設ホームページ, 「鹿島カットアンドダウン工法®」
http://www.kajima.co.jp/news/press/201210/31a1-j.htm, 2012.

土木分野のロボットで注目される無人ダンプトラック（図5-17）は、GPSと慣性航法などを組み合わせ、無人で鉱山内を走行するものである。高精度のRTKGPSを用い、数cm単位での誘導が可能である。掘削の進捗により積み込み位置は変化するが、積込み機である油圧ショベルとの相対位置を認識することにより、最適な積込み位置に自動的に誘導されるようになっている。排土位置への誘導も自動で行われる。またフリート管制が導入されており、最適な配車位置や交差点での優先順位付けなど、複数台の無人ダンプトラックの運行が可能なシステムとなっている。屋外のAGVと考えられるが、走行路が非舗装であること、昼夜、天候によらずに300［ton］の土砂を積載して（車体重量を合わせると800［ton］）、時速50［km/h］で走

行することなどを考慮すると、工場内のAGVを大きく凌駕する無人搬送台車と言えよう。

また土木分野では情報化施工に今後の大きな発展が期待できる。これまでの情報化施工では、汎用の建設機械にGPSなどの各種センサや制御装置をレトロフィットさせたものが用いられていた。最近、これらの機能を最初から装備した情報化施工用建設機械の市場導入が始まっている（図5-17、図5-18）。情報化施工システムの中で、建設機械は作業機の位置情報と設計データを比較し、設計形状に合わせて掘削の自動制御（マシンコントロール）やオペレータの操作支援（マシンガイダンス）を行う。すなわち情報化施工用の建設機械には、よりロボットに近い機能が求められており、情報化施工の進展は建設機械のロボット化を進める大きな駆動力になるものと考えられる。

図5-17　無人ダンプトラックシステム（コマツ）

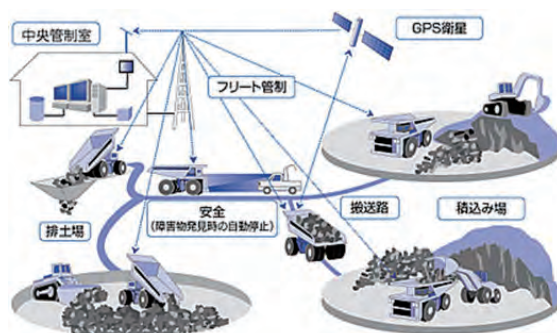



図5-18　情報化施工用ブルドーザ（コマツ）

第5章

～雲仙普賢岳と無人化施工～

長崎県島原半島にある雲仙普賢岳は1990年に噴火。その後一時小康状態となったが1991年に大規模な再噴火があり、この際に発生した火砕流では43名の尊い人命が失われる結果となった。その後1993年に入っても火山活動は衰えず、度重なる土石流により近隣の家屋や農用地の破壊が続いた。被害の拡大を食い止めるためには、堆積した巨礫や土砂を除去することが緊急の課題であったが、現場はいつ火砕流や土石流が発生するか分からない状況下にあり、有人による土木工事の実施は困難であった。そこで建設省（当時）は、あらたに「試験フィールド制度」を設け、民間からこれに対応する技術を広く公募することとした。試験工事に求められた条件は、（1）100m以上の距離からの遠隔操作、（2）一時的な温度100℃、湿度100%環境下での作業、（3）直径2～3mの礫の破砕である。この「試験フィールド制度」には、複数のゼネコンと建設機械メーカのグループが手をあげたが、提案された手法はほぼ共通しており、無線操縦の建設機械と建設機械に取付けたカメラ画像を伝送するシステムを用いて遠隔地から作業を行うものであった。試験工事は遠隔施工の多くの課題を浮き彫りにしたが、丹念にこれらの課題を解決することにより、除石工事は成功に終わっている。普賢岳での無人化施工は、その後砂防堰堤の建設工事や河川の流路が浸食されないようにする床固工事など、土木構造物を建設するより高度なシステムに発展し、2013年時点でも工事が続けられている。現在の無人化施工システムは、この一連の普賢岳での試験工事の中で培われてきたものといえるであろう。無人化施工システムは、有珠山や三宅島の噴火災害復旧工事、中越地震対応などに採用され、すでに150件を大きく超える適用事例がある。フィールドロボットの中でもっとも実用化の進んだシステムのひとつである。

吉灘 裕（大阪大学 大学院工学研究科 機械工学専攻動力機械システム工学領域 コマツ共同研究講座）

（2）社会インフラ保全ロボット

「社会インフラ保全ロボット」の導入目的は、現状、膨大な社会インフラの点検効率化と維持のための補修、メンテナンスが主たるものとなっている。つまり、人間に代わって現場で調査や作業を行うことにある。

社会インフラの種類としては、社会資本である、道路、河川、砂防、上下水道、港湾、公営住宅、公園、海岸、空港、航路標識、官庁施設などと、公共インフラである鉄道、地下鉄、さらにライフラインと呼ばれる、電気、ガス、通信などである。いずれもロボットが適用されている調査や作業は屋外環境や特殊環境で、フィールドロボットのカテゴリーに含まれる。

本項目では、主なロボット及びロボット技術（RT）を「点検・調査技術」、「モニタリング技術」、「補修・メンテナンス技術」に分類する。

①点検・調査技術

この技術では主として目視に代わるビジョンシステム、電磁波や超音波、レーザなどをセンサとして使用する非破壊検査技術がある。

ビジョンシステムは、暗所で高精細に撮影や、各種構造物の亀裂幅などを高解像度にとらえることが求められている。主に、インフラ設備内や管路などの狭隘部や外壁などの高所、木造住宅の床下点検での採用が多い。赤外線カメラにより温度変化をとらえ健全度を点検するシステムもある。

非破壊検査技術では、鋼構造物の劣化度合い診断に超音波技術や、トンネルの背面や路面下の空洞調査システムに電磁波技術が採用されている。事例を（図5-19）に示す。

また、近年LRF（レーザレンジファインダ）技術や画像処理技術の進歩によりトンネルや軌道等の三次元形状計測の技術も確立されている（図5-20）。

②モニタリング技術

各種変位計測を目的に、光ファイバや変位計を利用した監視システムがある。特に損傷の度合いが大きいもしくは不明な個所の変位計測に採用されるケースがある。

③補修・メンテナンス技術

補修・メンテナンスはその対象により使われているロボット技術が異なる。トンネルや橋脚などのコンクリート構造物では、ウォータジェットを利用した切断システムがある。道路のメンテナンスでは、浸透性舗装の機能回復を目的としたシステムなどがある。河川では、堤体を対象とした草刈ロボットなどがある。

この分野のフィールドロボットに要求される共通の技術的特徴としては、①計測精度の信頼性、②現場で繰り返し使われる耐久性と、③使用環境が変わることによるロバスト性の3点である。

例えば道路トンネルの点検では、①点検員以上の精度、②毎日の使用に耐え、校正など検査は、2年に一度程度、③検査対象の色の変化（水濡れ等）や検査対象までの距離、断面形状が異なっても適用できること、などを要求される。

（3）プラント保全分野（プラントメンテナンス分野）

これまでにいくつかのロボットの導入検討がなされてきたが、成果が出ているのは点検作業の中でも詳細データを要求される検査ロボットである。何種類かの検査ロボットが開発されており、一部はプラントオーナーに納品されている。検査内容は目視点検、超音波肉厚計測などの非破壊検査であり、ロボットの開発・製造も検査会社で実施され、検査会社の検査サービスにロボットが利用されている場合もある。実用化されているロボットとして、配管とタンクの内外面の検査ロボットがある。

検査ロボットに求められる性能としては、検査精度が検査員と同等かそれ以上、検査位置の詳細情報が収集できること、遠隔操作で検査位置を移動できること、ロボット自体の落下などによってプラント装置に損傷を与えないことなどがある。

目視点検は、ビデオカメラなどによって画像データを記録して、計測後に検査員によってデータ整理・分析される。超音波肉厚計測とは、超音波プローブと呼ばれる超音波受発信機能を持ったセンサを用いて、超音波プローブを測定物に接触させ、超音波を測定物に送信、測定物の裏面に反射して戻ってくる超音波を探触子で受信し、その伝播時間から測定物の厚さを算出する。

作業員がアプローチできない配管内部に点検ロボットを走行させ、目視点検が出来るようになってきている。ロボットは、配管内面で自身を中心部に支持するために3〜4本の脚を突っ張って、脚の先端部の駆動ローラーによって前進後進する。ロボットの前後にはビデオカメラが装備されており、検査中の撮影を投光しながら実施する。ロボットは有線でコントローラに接続されており、コントローラによって検査員が操作する。検査位置は自動検出され、ビデオ映像とともに記録される。小口径の配管にも適用され、有用性が評価されている。ロボットが検査中に止まって残留してしまうリスクに対しては、細い紐でロボットと配管外部を繋ぐことで対応している。配管内面検査ロボットは、地中埋設配管にも適用できてメリットも大きいと考える。しかし、配管内部の液体は排出した状態にして、配管の一部を取り外しロボットを配管内に挿入する必要があるため､検査作業はプラントが稼動していない定期修理時に限られる。

一方、足場架設が必要となる高所に設置されている配管や海上の配管の外面に点検ロボットを走行させ、超音波肉厚計測を実施している。ロボットはマグネットローラーで配管外面に吸着し、配管軸方向・周方向に移動できる。ロボットと配管の接触部には複数の超音波プローブが装備されていて、ある程度の範囲を一度に検査する面計測によって計測データの信頼性を向上させている。ロボットの配管表面への保持機能の工夫によって、ロボットの部品を交換することなく、何種類かの口径の配管の検査を可能としている。ロボットは有線でコントローラに接続されており、コントローラによって検査員が操作する。計測された配管の肉厚は、分布データ（肉厚マップ）として出力・記録される。

作業員が高所に設置されている配管の肉厚計測をする場合、対象配管の全長に足場を架設して高所作業をする必要があるが、配管外面検査ロボットは、ロボットを脱着する所だけに足場

架設すればよいというメリットがある。しかしながら、配管口径が著しく異なる箇所、例えばフランジなどがある場合は、足場架設して、一旦ロボットを取り外して人力で移動・再取り付けをする必要がある。

配管外面検査ロボットのようなマグネット走行タイプの超音波計測ロボットは、配管外面だけでなく、タンクの側板の内外面に吸着して同様の超音波肉厚計測ができる。タンクの場合は、配管よりも内外表面に凹凸が少なく、検査面積も広いのでロボットの優位性が高い。ただし、タンクの高さは10m以上のものも多く、ロボットの落下防止のための紐をつけるなどの処置が必要である。タンク側板外面は内容物が入っていても検査できるが、内面は定期修理時に限られる。

最近、電動マルチローターヘリコプタと呼ばれるロボット本体を中心に複数のプロペラを周りに等間隔で搭載した小型ラジコンヘリコプタを利用した点検作業について研究が開始されつつある。小型ラジコンヘリコプタの特筆すべき点は、GPS、ジャイロ、気圧センサなどの高性能化によって自律航行が可能となっている点である。簡単な入力作業で飛行ルートの設定ができ、スタートすれば上昇し、予定のルートを飛行して、自動で手元に戻ってくる。中央の本体上下にビデオカメラを取付ければ、従来よりもずっと簡便に空撮が可能となり、テレビや映画ではすでに現場利用されている。この空撮機能を活用して、石油精製プラントの配管やタンクの外面目視点検や、背の高い塔槽類の上部の目視点検などが考えられる。しかしながら、墜落や制御不能になった場合の対策が必要であり、パラシュート機能を有したヘリコプタも開発されつつあるが、課題が残っている。

配管内面検査ロボットや配管・タンク外面検査ロボットはいずれも有線接続されたコントローラによって制御され、ワイヤレスの所謂ラジコンではない。石油精製プラント内では制御や緊急連絡用などの電波が多数存在するため、プラントユーザからラジコンロボットの電波干渉が懸念される。また、ヘリコプタも含め、ラジコンによるロボット制御の信頼性にも課題が残るとされているのが現状である。今後、ラジコンによるロボットが登場すれば、有線制御ロボットの若干煩雑なケーブル捌き作業から開放されることが期待される。

図5-19　トンネル覆工背面空洞調査システム

（出典：東急建設株式会社）

図5-20　三次元形状計測システム

（出典：東急建設株式会社）

石油精製プラントが稼働中でも配管外面やタンク外面の検査作業は技術的にはロボットで可能であるが、稼働中のプラント内はほとんどが防爆エリアとなり、防爆認証されたロボットでなければ動かすことはできない。前述したロボットはいずれも防爆認証を受けていないので、基本的に定期修理時の検査作業に供されている。今後、防爆認証を受けたロボットの登場が期待されるが、そのハードルは高いと考える。

（4）農業分野

これまでに様々な種類の農業用ロボットが試作されたが、販売されたものはまだ少ない。その中で、欧州で販売されている搾乳ロボットは成功事例である。搾乳は毎日休むことなく行わなければならない作業であり、ロボットのニーズが大きい。

研究開発中のロボットで事例が多いのは、自律走行車両と果菜収穫ロボットである。自律走行車両とは無人車両のことで、農業分野ではトラクタ、田植機、コンバインに代表される。ロボットトラクタなどと呼ばれることもある。技術的には完成度が高くなってきているが、万一の事故に対応する制度がないなどの理由で市販には至っていない。自律走行車両は市販の農業用車両に位置計測装置、自動操舵装置、安全のための各種センサなどを装着して構成される。近年の農業機械は市販されている有人の機種でも各種の自動制御装置が装着されているので、以前に比べるとロボット化しやすい。その際に必要となる重要な装置は位置計測装置である。圃場内の位置を計測するため、これまでにレーザ測量器、ジャイロコンパスや速度計などの内界センサ、マシンビジョンなど各種の機器を用いた方法が研究されたが、最近の主流はGPSあるいはGPSと他のセンサの組み合わせである。測量用に開発されたRTK-GPSは条件が良ければ2cm程度の誤差でほぼリアルタイムに位置計測ができる。これを車両に搭載して圃場内の位置を知り、計画された経路を走行する。RTK-GPSはまだ高価であるが、価格は下がってきており、農業での使用も現実的になってきた。農林水産省の「国産農産物の革新的低コスト実現プロジェクト」では、北海道大学が代表機関となり自律走行車両を開発し、各地で実証試験が行われている。このプロジェクトでは高価なGPSを含む位置計測ユニットを標準化し、トラクタやコンバインなど複数の車両で共通利用することで、全体のコストを低減している。

果菜収穫ロボットについては様々な農産物を対象にして研究されているが、生産量の多いトマトと収穫作業時間の長いイチゴについて研究事例が多い。果菜収穫ロボットのハードウェアは移動装置（脚）、マニピュレータ（腕）、エンドエフェクタ（手）、マシンビジョン（目）などから構成されている。ロボットは露地栽培よりも集約的な施設園芸を対象とする場合が多く、施設内で土耕栽培の場合は畝間を、高設栽培の場合は栽培ベッドの間を移動する。農産物は傷つきやすく強く把持することが出来ないため、様々なソフトハンドリング技術が研究されてきたが、最近のイチゴ収穫ロボットなどでは果実ではなく果柄を把持・切断する機構を持つものが多い。果菜収穫ロボットで困難な課題は対象物の検出である。イチゴ収穫ロボットを例にとると、カメラで赤く色づいた適熟果を見つけて、その果柄を特定し、果柄の位置を検出する。人間には簡単なことであるが、ロボットにとっては難しい。特に果実が密集している場合は撮

影した画像内で果実が重なり、適熟果の認識が困難になる。また果柄も密集するので、収穫対象の果実に対応する果柄の特定も難しい。このため複数のカメラを用いたり、レーザ距離計など他のセンサを併用することが行われているが、まだ不完全である。

ロボットの利用に適した栽培方法の検討も重要である。施設栽培ではロボットが移動しやすい栽培ベッドの配置や、ロボットが収穫しやすい野菜の仕立て方が研究されている。

（5）災害対応ロボット

災害対応ロボットの目的は、人間では不可能な作業を可能にすること、人間のリスクを低下させて二次災害を防止すること、作業の迅速化や効率化を行うこと、にある。そのためのロボットに求められる機能は、救助や復旧作業を行う人間に代わって現場で調査や作業を行うことである。災害状況や要求は多様で事前には予測が付かないこと、災害現場は瓦礫や高所や狭所の困難な環境条件であること、しばしば現場作業者の命がかかっているため作業に確実性が要求されること、緊急性を要すること、が災害対応ロボットの特徴である。

ロボットが行うべき作業は現場で人間が指示する必要があるため、ロボットは遠隔操作型である必要がある。（図5-21）に災害対応ロボットにおける機能モジュールとそれらの間の情報の流れを示す

災害対応でまず求められるのは、状況の調査機能である。ロボットは各種センサを現場に移動させ、計測し、それをマッピングして人間に伝えることが求められる。次に求められるのは、救助や復旧などの作業であり、ロボットはアーム等を使って物体や人体のハンドリングや工事などを行う。ただし、建設機械や産業用ロボットで実現されているような作業を除いては、現在のロボットが災害現場で行える作業の種類は極めて限定的であり、人間と比べて遅い。

図5-21　遠隔操作・自律制御ロボットの機能モジュールと、それらの間の情報の流れ

（出典：国際レスキューシステム研究機構，NEDO平成24年度成果報告書「特殊環境用ロボット等の標準化・安全規格化と競争力の強化等に関する検討」，2013）

状況調査ロボットがもっとも求められるのは、人間が行けない、入れない場所の調査である。アクセス不能の理由は、高い、狭い、瓦礫等で行く手が阻まれている、閉ざされている、水中などの移動が困難な場合か、汚染、爆発、犯罪などの危険性が高い場合か、人手不足の場合である。

以上のことから、まず移動・静止能力がロボットに求められる必須条件である。上記のような条件はロボットにとっても移動が困難であり、技術的なブレイクスルーが求められている。能力が最近飛躍的に向上してきた移動方法として、超小型飛行体、登壁ロボット、狭所進入ロ

ボットをあげることができ、これらのさらなる技術革新と災害対応ロボットへの適用試験が望まれる。移動のためには、総合システムとしての能力向上が必須であり、（図5-21）のセンシング、認識、通信機能、ヒューマンインタフェース、作業、行動決定、自律機能などすべての要素と、それらのシステムインテグレーションが求められる。

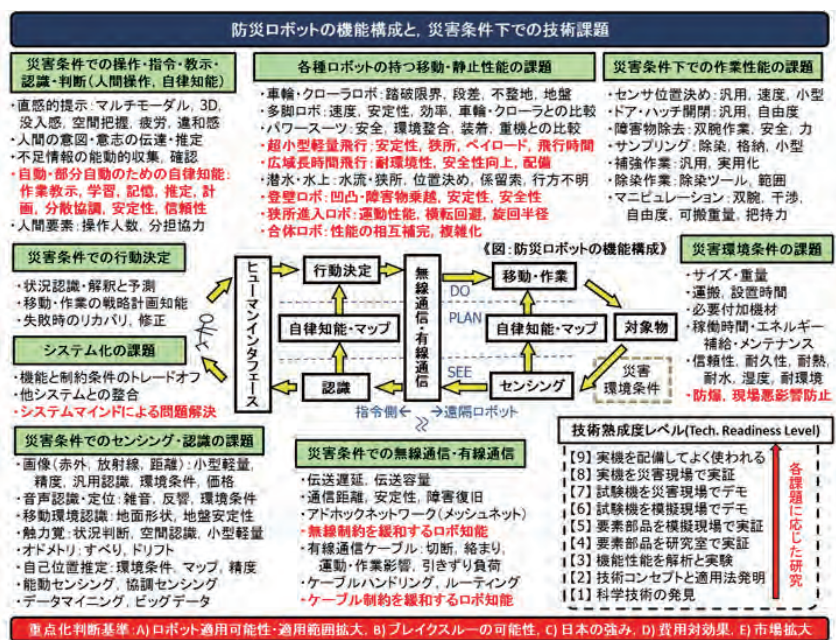
センシング・認識としては、移動に必要なロボットの状況認識（3D地形、障害物、地面や壁の状態、自己位置推定、など）が必要である。

通信としては無線通信と有線通信がある。無線通信が優れていると思われがちだが、災害現場ではロボットが失われないために命綱を付けなければならない場合も多く、無線によるロボットの運動独立性に関する優位性は必ずしも当てはまらない。むしろ無線の不安定性が大きな問題となるため、可能な場合には有線通信が好まれる。無線通信には、伝送遅延、伝送容量、通信距離、安定性、障害復旧などの問題の解決が必要である。有線通信には、ケーブルの切断、絡まり、運動・作業への悪影響、引きずり負荷などの問題の解決が必要であり、ケーブルハンドリングやルーティングの高度化が望まれる。

遠隔操作が必要であるため、人間とのコミュニケーション能力は大変重要である。人間に対して十分な状況認識を可能にし、人間が意志を十分に伝えられるようにすることが必要である。また、ロボットの自律知能と人間の知能との役割分担が重要である。

移動のための作業としては、障害物の除去などが求められる。

行動決定・自律機能としては、状況の認識解釈と予測、戦略的計画、失敗時のリカバリ・修

図5-22　防災ロボットの機能構成と、災害条件下での技術課題

（出典：国際レスキューシステム研究機構，NEDO平成24年度成果報告書「特殊環境用ロボット等の標準化・安全規格化と競争力の強化等に関する検討」，2013）

正などがあげられる。

これに加えて、調査を行うためのセンシングやマッピングの機能が求められることは言うまでも無い。

さらには、災害環境条件での頑健性、サイズ・重量、運搬・設置時間、可動時間・エネルギー、メンテナンス、信頼性、耐久性、防爆、などが求められる。

以上をシステムインテグレーションして、ミッションを果たせるシステムとして組みあげることが必要である。また、災害現場で使用できるためには、高い技術熟成度レベルが求められ、試験デモレベルの機材では実際の役には立たない。

作業を行うロボットのためには、作業機を運搬して作業を行うための、移動機能、センシング・認識機能、ヒューマンインタフェース、自律機能他が求められる。

以上をまとめると、（図5-22）のようになる。

（6）原子力分野におけるロボット技術の現状

ホットセル内での放射性物質のハンドリングに関しては、古くからマスター・スレーブ式のマニピュレータが利用されてきた。当初はホットセル内外を連結した機械式のマニピュレータが用いられていたが、その後、ロボット技術の進歩にともない、セル内作業用両腕型バイラテラルサーボマニピュレータなど、電気式のマニピュレータが用いられるようになった。

一方、原子力施設の監視、点検、保守用のロボットの開発に関しては、1980年代からプラントメーカが中心となって、通商産業省（現経済産業省）のプロジェクトや電源開発促進対策特別会計の補助金などで実施されてきた。モノレール式点検ロボット、水中点検ロボットなどの専用機についてはすでに実用化され、実プラント内で稼動しているものも多い。その一方で、格納容器内点検用ロボットなどの汎用ロボットの開発も多く行われた。その典型例が極限作業用ロボット（1983-1990）である[1]。1999年に発生した東海村JCO臨界事故後も、原子力防災支援システムや情報遠隔収集ロボットなど、原子力事故対応ロボットの開発が行われた[2]～[4]。しかしながら、これらの研究開発では、様々な高度な技術開発が行われたものの、いずれもプロトタイプ開発や基盤技術開発までで留まってしまい、実用化されなかった。

原子炉解体に関しては、JPDR解体の際に、放射能を帯びた鋼構造物及びコンクリート構造物の安全かつ円滑な解体を目的として、様々な解体工法・解体機器の開発が行われた。特に、作業者の放射線被ばくの低減を図るため、高い放射線環境下での作業を行うことのできる遠隔切断装置などの遠隔解体操作技術の研究開発が行われた。

福島原発事故の緊急対応、廃炉措置においては、多数のロボットや遠隔操作機器などが開発・活用されている[5]。米国iRobot製のPackbot（2台）、千葉工業大学、東北大学、国際レスキューシステム研究機構（IRS）、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が開発したQuince、Quince 2、Quince 3、米国iRobot製のWarrior、米国QinetiQ製のTalon、日本原子力研究開発機構（JAEA）が開発したJAEA-3、TOPY工業が開発したSurvey Runner、東芝が開発した4足歩行ロボットと小型走行車、三菱電機特機システムが開発したFRIGO-M、産

業技術総合研究所と本田技術研究所が開発した高所作業車、アトックス社製床面除染装置、日立GEニュークリア・エナジー社製水上遊泳調査ロボットなどが、調査、瓦礫除去、除染などに用いられている。いわゆる「ロボット」以外のロボット技術も、廃炉に向けた様々な作業において活用されている。米国Honeywell社製の小型無人ヘリT-Hawkが原子炉建屋調査に使用されたほか、日本原子力研究開発機構（JAEA）が開発したロボット操作車RC-1（通称TEAM NIPPON）が、Talonの操作車として、またガンマカメラによる線量測定・汚染分布測定などに用いられた。さらに、これまでに、工業用内視鏡を用いた2号機原子炉格納容器内部調査、ROVを用いた使用済燃料プール内調査・瓦礫分布マップ作成、バルーンを用いたオペフロ調査なども行われている。

参考文献

[1] 平井成興：「極限作業ロボットプロジェクト」特集について, Vol.9, No.5, p.601, 1991.

[2] 間野隆久、濱田彰一：原子力防災支援システムの開発, Vol.19, No.6, pp.714-721, 2001.

[3] 小林忠義，宮島和俊，柳原 敏：原研における事故対応ロボットの開発（その1）情報遠隔収集ロボットの開発, Vol.19, No.6, pp.706-709, 2001.

[4] 柴沼 清：原研における事故対応ロボットの開発（その2）耐環境型ロボットの開発、Vol.19, No.6, pp.710-713, 2001.

[5] 淺間一：“福島原子力発電所の事故対応及び廃炉のための遠隔操作・ロボット技術”、日本原子力学会誌ATOMOΣ, Vol.56, No.1, pp.25-29, 2014.（掲載予定）

第5章

～海洋開発におけるロボット活用の現状と展望～

・遠隔操縦式海中ロボット

1960年代に本格化した北海油田の開発が、近代的な潜水作業の幕開けであったといえる。水深はせいぜい300mであったので、当初は飽和潜水や有人潜水艇によって水中作業が行われた。1970年代になり、ケーブルで繋がれ、遠隔操縦機（ROV：Remotely Operated Vehicle）が使われるようになり、今や1,000mをはるかに越える大水深での石油開発がおこなわれ、ROVは無くてはならない物になっている。2000年代では3,000m水深仕様のROVはカタログ製品になっている。

日本周辺には大規模な海底油田がないために、深海作業用の大型ROV開発は世界に遅れている。活躍しているROVは、科学研究目的の（独）海洋研究開発機構（JAMSTEC）が所有しているカナダ製「ハイパードルフィン」であり、深海研究に欠かせない。JAMSTECは、1980年代に「ドルフィン―3K」、1990年代に「かいこう」の二つの大型ROVを作ったが、ROV産業を興すまでにいたっていない。「かいこう」は海の最大深度である11kmまで潜ることのできる世界初のFull Depth ROVであり、マリアナ海溝10,911mに1995年に潜った。

人の行けないところで作業するROVは「テレエグジスタンス」という学問分野を作り出した。しかし、実用的には高度なテレエグジスタンスは使われておらず、操縦現場には多数のDisplayが設置されて、操縦者の頭の中に海中世界を作り出して遠隔操縦がおこなわれている。

深海用のROVの問題点は、ケーブルにある。電力を送り情報伝達をする長尺で太いケーブルはROVの運動を拘束し、それを扱うウインチなどの甲板装置は狭い船上で場所をとり、やっかいな物である。そこで、エネルギーはROVの電池により確保し、ケーブルを通信・操縦用の光ファイバケーブルのみにして、ケーブルを細く、甲板装置を小さくするROVも開発されている。しかし、利用できるエネルギー量が限られていて重作業には向かない。

このように、作業目的に応じた各種ROVが開発されていて、水深が3,000m程度ならばROVを投入して作業することは、世界中でおこなわれている。2010年にメキシコ湾で起こった石油掘削施設「Deep Water Horizon」の爆発事故による原油流出事故は記憶に新しいが、流出を止めるために、多くのROVが1,500m深度での作業にあたっている。

・自律型海中ロボット

邪魔なケーブルを断ち切れば、水中機は自由に海中を進むことができる。しかし、無線が届かない海中で遠隔操縦をするには、音響通信に頼らねばならない。1,500m／秒と遅い音響伝搬速度と高い減衰は高速通信を妨げるので、ケーブルのない水中機は高い自律性をもった自律型海中ロボット（AUV：Autonomous Underwater Vehicle）となる。

世界のAUV開発は1980年代から始まり、フランス、英国、米国、日本（東京大学生産技術研究所）がトップランナーであった。技術が成熟し、具体的な調査活動に使われるようになったのは、2000年になってからである。深海の広域調査に威力を発揮している。2009年のエールフランス機447便の大西洋墜落事故において3,900m深度で事故機の残骸とフライトレコーダを発見したのはAUVである。

図表1　Tuna-Sand

図表2　海底生物の調査

我が国のAUVの最初の成果は、2000年に「アールワン・ロボット」の伊東市沖合の手石海丘の調査である。これを嚆矢としてAUVの重要性が認識されるようになり、東京大学生産技術研究所は航行型の「r2D4」やホバリング型の「Tuna-Sand」（**図表1**）を開発し、熱水地帯の観測や海底生物の調査（**図表2**）に使われるようになった。

AUVは、働く自律型ロボットである。その活動は他のシステムでは代え難いので存在価値がある。深海という過酷な環境と海上という船でなければいけない現場海域が、頻繁なロボット展開を阻んでいるが、関係者の不断の努力により新たなAUVが次々に開発され、これまでできなかった観測や探査がおこなわれるようになった。特に、日本の持つ鉱物資源として期待されている熱水鉱床の調査活動に活躍している。

浦 環（九州工業大学 社会ロボット具現化センター）

5.2. フィールドロボット普及に関する課題と目指す姿

（1）建設分野

建設は3K作業の代表にあげられることが多い。また長期にわたって生産性の改善が見られないことから、建設分野へのロボットの導入が繰返し唱えられてきた。しかし30年以上が経過しても、まだその目的は達成されたとは言い難い状況にある。バブル期には、建設ロボットをビジネスチャンスと捉え、複数のメーカが参入したが、現在ではそのほとんどが撤退している。建設工事の大部分は一品生産であり、とくに意匠にこだわる建築においては、作業は人の手に頼らざるを得ないという側面がロボットの導入を難しいものにしている。また複数の工程が複雑に進行する建築工事では、単一工種のロボットでは、十分な効果を発揮できないことも課題である。労働者の高齢化を考えると、人間のスキルを活かし、筋力や苦渋姿勢をアシストするパワーアシスト型のロボットの適用が期待されるが、釘打ち機やドリルなどの工具類に準ずるコストが求められること、狭く段差のある建築現場で適用が可能なことなど技術的なハードルは高い。建築分野では部材のプレファブリケーション化を進め、これに自動ビル施工システムを組み合わせる方式にもっとも将来性があるように思われる。この際、フロアのリフティングに用いるジャッキや部材の搬送システムの共通化を図り、施工システムが複数の物件に転用できるようにして、施工コストを抑えていくことが重要と思われる。また都市インフラの再構築に伴うビルや橋梁などの解体は、新しい構造物を作る場合に比べて安全性の確保が難しく、建設ロボットの導入や自動化システムの適用が期待される分野である。

土木分野の無人化施工システムは、フィールドロボット全体の中でももっとも実用化と普及が進んだもののひとつであるが、無人化施工システム技術を牽引してきた雲仙普賢岳の工事は数年内に完了する計画であり、その後の技術の維持と発展をどのように図るかが大きな課題である。また建設機械の自動化、ロボット化は、土木分野のロボットの重要なキー技術であるが、有力な適用分野が見出されない限り、メーカ主導では進み得ない。国交省の提唱する情報化施工が普及すれば、建設機械に多様なセンサや電子制御が織り込まれることになり、これが建設機械の自動化・ロボット化を促進することが期待できる。また通常の建設機械よりもはるかに高価な大型の鉱山機械は、コスト面で新しい技術の導入が図りやすく、鉱山機械を起点とした建設機械の自動化の進展もおおいに期待される。

（2）社会インフラ保全ロボット

現在、この分野でのロボット関連の要素技術は、そのほとんどがロボットでの施工を前提として提供されているものではなく、今後は要素技術から施工方法などトータルでの見直しが必要である。さらに、仮設環境で無線通信、タブレット端末やスマートフォンなどを有効活用するアプリケーションの供用やデータ管理手法なども重要課題である。

社会インフラ保全ロボットに求められる姿は、①インフラの健全度を正しく着実に把握する

技術、②維持更新の水準を高めるための技術にある。

①については適切なセンサの開発、②については、点検から補修・メンテナンスまでの一連の作業をロボットで効率よく実現することが要求される。

そこで、社会インフラ保全を行うロボット開発のロードマップが必要となるが、技術開発の難易度から考えると以下の順に開発が進むと想定している（図5-23）。

図5-23　想定される社会インフラ保全ロボットの開発ロードマップ

Ⅰでは、点検技術者のノウハウをデータベースに蓄積し、専門家でなくとも一様のレベルで点検できるシステムを確立する。

Ⅱでは、今後増大するインフラの点検業務を自動計測可能とすることで、日常点検の効率化を図る。

Ⅲでは、Ⅱのロボットによる点検をさらに高効率化するためにインフラ側の設備をロボットによる点検に即したものに変更､配備することを想定する。

Ⅳでは、Ⅲが配備されたインフラにおいてはさらに難易度の高い、劣化したインフラの自動補修や、故障した設備等の交換作業等を行うロボットの実現性が高まる。

Ⅴでは、もっとも難易度の高い作業として、災害時や事故時の緊急点検のためのアドオン技術の開発が必要である。

今後ますます市場が増加すると予想される社会インフラ分野のフィールドロボットは、政府の「インフラ長寿命化基本計画」のもと、少子高齢化に伴う技能労働者不足対応の切り札として期待される。さらに、経済産業省と国土交通省で導入検討中の次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会[1]」で議論されている平時利用から大規模災害発生時の使用にも適用できるフィールドロボットで必要とされる要素技術開発が重要であると考えられる。

参考文献

[1]　次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_fr_000022.html

（3）プラント保全分野（プラントメンテナンス分野）

今後、急速な進行が予想されるプラント設備の高経年化によるメンテナンス頻度及びトラブル発生要因の増加、ベテラン保全員減による負担増と技術伝承問題、高過酷度・高稼働での長期連続運転への要求に対応し安全・安定操業を確保していくためには、設備・運転に関わる信

頼性向上技術の確立が重要である。プラントメンテナンスの分野において、メンテナンスの自動化を目的としてロボット技術/IT技術の有効活用が望まれている。

ロボット技術への期待は、作業員がアクセスし難い箇所へ接近できること、作業員以上の力で正確な作業ができること、24時間不休で稼働できること、IT技術によってデータの記録・通信などがあげられる。アクセス性については、作業員には環境的、構造的な制限があるが、ロボットにはそれらの制限を克服することが求められる。例えば、環境的には高温・有毒ガス・酸欠・粉塵などが、構造的には高所・狭隘・壁面・空中・水中などが作業員にとってはアクセス制限となっている。

ロボットの導入が求められている作業には、主に検査作業と改修作業があると考える。前者は非破壊検査などを利用して設備の状態を把握するものであり、後者は補修工事や更新工事において作業員を補佐する作業である。

検査作業で具体的なニーズがあるのは、配管とタンク、背の高い塔槽類や煙突類である。配管に関しては前述したように実用化されているものもあるが、足場架設の数をどれだけ少なくできるかなどのさらなる高度化が求められる。また、石油精製プラントには内容物を加温したまま送油する必要がある場合は保温材付配管を使っているが、保温材付配管は保温材と配管の隙間に雨水などが浸入して腐食する保温材下腐食が問題となっている。保温材付配管の肉厚計測には、足場架設に加えて保温材撤去作業が加わるため、コスト、工期ともにプラントオーナーの負担が大きい。そこで、ロボットによって保温材付配管を保温材の上から肉厚計測するロボットが求められている。保温材付配管肉厚検査ロボットのニーズは非常に強く、X線透過プローブを搭載したロボットの開発が試みられたが、まだ不完全である。また、現状の配管内面検査ロボットを小型化して、ドレンなどの小口径配管から出し入れできるロボットなども実現が待たれる。

タンクの検査については、前述した側板内外面の肉厚検査以外にもニーズがある。タンク開放直後は、タンク内部が高温や酸欠の場合があり、作業員は中に入ることはできない。そこで、ロボットによる遠隔操作での内部清掃や肉厚検査が求められている。煙突やフレアスタックの先端などの高所の目視点検にもロボットの導入が期待されており、小型ラジコンヘリコプタによる高精度ビデオ撮影などの開発に期待したい。

定期的な検査ロボット以外にも、日々の日常点検、巡回点検の作業員の代替ロボットの登場も期待されている。プラントは24時間運転であり、昼夜にわたり一日に4回程度の作業員による目視点検を中心とした巡回点検が広大な範囲でなされ、液ガスの漏洩・機器の変色・異常過熱・回転機の異常音の検知など、劣化の早期発見という重要な位置づけで実施されている。巡回に掛かる労力削減はもちろんのこと、ベテラン作業員の減少により、巡回点検の劣化兆候検知の精度向上も求められている。これらの要求事項から、巡回点検ロボットに求められる機能は、プラント内を自由に移動できる機能にビデオカメラやガス検知器、サーモグラフィ、マイクロフォンなど複数の非破壊検査機能が搭載されていることが好ましい。移動機構としては、プラント内は段差が多いので、クローラ式や二足歩行式などが考えられる。

一方、改修作業などの作業員の労働を代替、補填するようなロボットも望まれている。実用化しているものに、高圧水ジェットを用いた自動塗装剥離ロボットがある。タンク側板の外面にマグネットローラーで吸着し、ロボットと側板の間から高圧水ジェットを噴射して再塗装工事の前置処理の塗装剥離を実施するものである。タンクの塗装剥離には大掛かりな足場架設が必要だったため、このロボットによって工期短縮、コスト削減が可能となる。今後は、剥離作業後の自動塗装ロボットの登場が期待されている。

点検や軽作業のロボットとは異なり、重量物の運搬や据付といった重作業にもロボットの活躍の場があると考える。プラントの改修工事においては、大型機器の運搬や据付にて、各種重機と作業員を多数配置して作業を実施しているが、コスト面や安全面での負担が大きい。複数のクレーンを巧みに操作して大型機器を移動することもある。そこで、大型のアームを持つロボットによって大型機器を持って移動させ、正確に据付位置を調整するなどの作業を代行することによって、コスト・安全面でのメリットが出る。例えば、熱交換チューブの出し入れ作業や、高所配管ラックでの配管位置合わせなど、具体的なニーズは多数あると思われる。

プラントメンテナンスにおけるロボットの目指す姿として、点検・軽作業ロボット、巡回ロボット、重作業ロボットについてまとめる。点検・軽作業ロボットは、比較的小型で、機器の内部や高所に容易に移動でき、非破壊検査技術を搭載して正確な計測・記録が可能であり、落下防止の工夫を要する。巡回ロボットは、中型で、プラント内をスムーズに移動でき、複数の非破壊検査技術を搭載して計測・記録・連絡が可能であり、作業員との衝突などを回避する工夫を要する。重作業ロボットは、比較的大型で、重量物を移動できるアームなどの機構を有するとともに、正確な位置調整が可能であることが必要である。

一方、プラントメンテナンスロボットが実用化される為にはいくつかの課題がある。ひとつは防爆性であり、プラント稼働中に作業するのであれば必須となる。ロボットが防爆認証をクリアするには、技術的側面からのさらなる検討とともに制度面からの再考も必要になるかもしれない。また、ワイヤレス通信技術を活用し、ロボットによって収集したプラント設備の状態データをプラントの中央管理室でリアルタイムにモニタリングし、クラウドを経由してプラント外の設備診断の専門家による分析・評価が可能となれば、ロボットの付加価値が増し、同時に評価結果は若手作業員の技術伝承にも活用できると考える。さらに、ロボットのワイヤレス制御もできると思われる。将来は、ワイヤレス制御で自律的にメンテナンスを24時間遂行してくれるロボットの登場を期待している。ただし、ワイヤレス通信には使用する電波の周波数など、プラント内での電波干渉を回避する工夫が必要となる。

（4）農業用ロボットと運用システムのあり方

いわゆるロボットトラクタやロボットコンバインなどの自律走行車両については長い研究実績があり、技術的には実用化に近づいている。「国産農産物の革新的低コスト実現プロジェクト」では、3年間の要素技術の開発が終わり、実証試験のステージに移行している。コストはまだ高いものの、購入したいという大規模農家もあらわれている。それではすぐにでも市販されそ

うかというと、そういう訳にもいかない。無人車両が圃場で対人事故を起こした場合に、責任の割合を定める制度が整っていないからである。自律走行車両にはもちろんレーザスキャナや超音波センサなどの障害物センサが多く取り付けられ、誤って人が近づいた場合には停止するようになっている。しかし小さい子供が作物の間に入った場合などに検知できない恐れもある。

工場内のロボットであれば、外から侵入して事故が起きた場合に、侵入者の責任を問えるであろう。また有人の農業機械であれば、オペレータの過失責任が問われる。機械の使用者はそれを承知して購入するのである。ところが無人の機械が圃場で事故を起こした場合、圃場への侵入者に非があっても、メーカが責任を問われるおそれがある。自律走行車両を普及させるには、制度を整えてこの課題を解決しなければならない。

そこで、当面は自律走行車両を単独で運用するのではなく、有人車両と同時に運用することが提案されており協調作業などと呼ばれている。畑の整地と播種、牧草収穫と搬送車による運搬のように、農業では2台の車両が組になって行う作業がある。また能率を上げるために2台の車両で同時に同じ作業を行うこともある。このような場合に一方を自律走行車両にし、一方をオペレータが操作することで人件費が節減できる。完全な無人作業ではないので、安全性が担保できる。万が一事故が起きた場合も、メーカが全責任を問われることはなく、オペレータが過失責任を負うことになるので、協調作業での使用を条件とすればメーカは市販できる。

また自律走行車両の技術は精密農業に利用されつつある。精密農業とは、圃場の中の土壌の状態や作物の生育状況のばらつきに対応して、適切な農作業を行うことである。例えば一枚の圃場の中で、肥料を均一に散布するのではなく、必要な場所にだけ必要な量の散布を行う。これによってコストと環境負荷を低減できる。散布量は自動計測された土壌状態、作物の生育状況、前年の収量分布などのデータから決定され、走行中に散布機が自動制御される。精密農業の作業は今のところ有人運転で行われているが、車両の位置検出、圃場センシング、可変作業などに自律走行車両に近い技術が用いられている。

また、原発事故による被災地での農作業に自律走行車両が用いられる可能性がある。現状では仮置場の問題などから進捗が遅れているが、農地除染のために表土のはぎ取りが実施される予定である。このときにオペレータを放射線から保護するための車両の防護能力強化、あるいはオペレータが乗車しない遠隔操縦や自律走行の導入などが農業機械メーカや研究機関によって提案されている。また除染を行ってもその直後から食用米を生産するのは困難かもしれない。そこで被災地の農地を維持するために燃料用バイオマスの生産などが行政、被災地の自治体、研究機関などから提案されており、ここでもロボット技術の貢献が期待される。

果菜収穫ロボットについては農林水産省の「農業機械等緊急開発事業」で生物系特定産業技術研究支援センターとメーカの共同研究により、イチゴ収穫ロボットが開発され市販されることになった。しかしまだ農家への導入実績はなく、更なる技術開発が求められている。収穫成功率が50～60％程度とまだ低いので、これを改善する必要がある。また開発されたロボットは、高設栽培の施設内でレールの上を移動するようになっている。このため既存の施設にそのまま導入することが出来ない。ロボットを移動させるのとは逆に、ロボットを定置式にし、栽培用

のベンチを循環移動させる方式も開発されている。この場合、収穫作業だけではなく、全ての作業を定置式の装置で行うことができ、進化した植物工場ともいえる。このように施設用のロボットについては、ロボット単体ではなく、施設全体のシステムの一部として検討するのが近道であるかも知れない。海外への輸出についても、ロボット単体ではなく、超高品質な果菜を生産する日本の農業技術とともに、施設全体をパッケージ化した製品とみなす方が競争力がありそうである。

～農業や林業の現場にロボットは入れるか？～ [1], [2]

日本の急速な高齢化は、農業や林業の労働力不足にも深刻な影響を与えつつある。自給自足のための生産量増大どころか維持さえも困難となり、さらには、農林業特有の生産技能の伝承も出来なくなることが危惧されている。林業では、伐採作業などにおける危険性も高齢化とともに増大し、安全性の確保も重要な課題である。

農業分野では、農林水産省は、これまでにも生研センター主導による農業機械等緊急開発事業や、日本ロボット工業会などとの連携による園芸用ロボット実用化推進事業などを展開し、次世代農業用ロボットの開発を行ってきた。ただ、実用化のためには、コストの削減、現場の状況を考慮した導入方法の策定など多くの課題がある。農業機械等緊急開発事業の一つとして開発された「イチゴ収穫ロボット」は、当初はロボットが移動するタイプであったが、その後、イチゴの栽培ベッドが循環移動する定置型に変更され開発が進められている。この変更により、機構の単純化によるコストダウン、移動型では遮光が難しく困難であった昼間の収穫が可能になると見込まれる。ロボットは赤く熟した果実のうち4～7割を収穫し、作業の省力化とロボットの稼働時間の拡大を達成している。単に高機能なロボットを開発するのではなく、環境と調和したシステムとしてのロボット開発が効果的な例であると言えよう。

一方、林業分野ではなかなかロボット化が進んでいない。日本は急峻な斜面が多く、ハーベスタなどの大型林業機械を山に入れることができない。資材としての木材を利用する伐採だけでなく、伐採の一形態である間伐（樹木の生育を促すために間引くための伐採）は山の管理として必須であり、山地災害を防ぐためにも重要な作業である。しかし、林業従業者はここ25年で約半数に減少し、高齢化も進んでおり、現状では目標とされる作業量の確保も難しい。さらに林業では死傷事故が年に約2,000件発生している。この状況の林業は、まさにロボットを優先して導入すべき現場であるといえる。し

第5章

かし、急峻な山の，それも木が密集した奥地で作業するロボットの開発は容易ではない。平成23年度から始まった農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」では、「安全な間伐作業を実現する遠隔操作型伐倒マニピュレータシステム」の開発が進められている。チェーンソに代わる伐倒マニピュレータ、ロボットシステムを山奥に運搬するモビリティ、操縦するためのインタフェースなどから構成され、現在試作と評価実験が進められている。

農業と林業は、社会環境そして人の生活基盤と密接に関わる産業であり、ロボットによる支援が強く求められている。現場を深く理解したロボット開発が進むことを期待し、また国には継続的かつ強力な財政的支援政策を打ち出してもらいたい。

図表　伐採ロボットの例（早稲田大学）

参考文献

[1]　http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/brain/046905.html
[2]　http://www.s.affrc.go.jp/docs/research_fund/2011/pdf/23_saitaku_kadai.pdf

菅野 重樹（早稲田大学 理工学術院 創造理工学部総合機械工学科）

（5）災害対応ロボット

災害対応ロボット技術は、研究が本格的に開始されて10年になるが、その期間に飛躍的に技術が向上した。東日本大震災では、様々なロボットが活用あるいは試験され、一定の成果をあげた。今後もさらなる能力の向上が期待されており、現在実用レベルにないが、数年後には実用性能に達すると考えられ、有用な機材となる可能性が高いものも多数存在する。そのため、今から10年の間に世界中で、ロボットは防災のために欠かせない機材となっていくと考えられる。

このように、これまでの災害対応の方法論の大前提は変わってきている。したがって、ロボットの使用について根本的に検討しなおし、災害対応のシナリオを見直すべきであり、それを継続して進めていくべき時期に来ている。

現在は、技術的課題の他に、まだロボット活用のための各種のバリアが存在すると考えられ、そのバリアを解消することが必要である。そのためには、次のような方策が必要である。

- 技術的課題を解決するために、基盤技術研究と本格実用化研究を並行して進めること。
- ユーザ・発注者・予算決定者がロボットの能力を知ること。開発者・販売者・レンタル業者がユーザニーズを知ること。
- ユーザ・発注者・予算決定者にとってロボット使用が経済的に成立すること。
- メーカ・ディストリビュータ・レンタル業者にとってロボット製品がビジネスとして成立すること。
- ロボットが現場で継続的に使用・試験・訓練されること。
- 大学や国研の活用、全国に複数の防災ロボット研究開発拠点の整備と、国際的協力を進めること。
- テストフィールド・モックアップを設置した防災ロボットセンターの整備を行うこと。
- ユーザ間の協力を進めること。
- わかりやすい研究開発と普及のブースト策、ソリューションコンテストなどを行うこと。
- 現在あるニーズによってロボットを育てること。
- 法と制度の整備を行うこと。
- 国際標準化を進めること。

より具体的には、後に示す2つの（図5-24、図5-25）のことが必要である。

図5-24　全国に複数の研究開発拠点、防災ロボットセンター、制度整備

図5-25　全国に複数の研究開発拠点、防災ロボットセンター、制度整備

防災ロボット：全国に複数の研究開発拠点，防災ロボットセンター，制度整備

無人化施工

水陸両用運搬車両
・水中走行クローラ信頼性，安全性
・水中地形計測，地盤認識，海底地質調査，安定性評価，転倒防止

緊急対策工事用無人化油圧ショベル
・ヒューマンインタフェース高度化による空間認識力向上
・車体の自律安定化制御

研究開発拠点，および，防災ロボットセンターの設置

・全国に複数の研究開発拠点を設置
　＝大学・独法・国研の活用，国際的な協力
・試験フィールドを備えた防災ロボットセンターを設置
・フィールド試験に基づく性能評価と改良開発
・研究開発のためのコンテストの運営・参加への支援

国際標準化，規格化

性能評価法
・ロボット・ロボット部品の性能評価法の国際標準化
・調達基準の明確化
・市場の国際化
・開発目標の明確化
・他社製品との差別化
・国際的ショーケース

部品の可換・再利用性
・ロボット・ロボット部品（ハード・ソフト）の規格の国際標準化
・可換性・再利用性向上
・開発コスト低減
・開発速度加速
・製品原価低減

国際安全規格
・ロボット現場適用の際の安全規格
・安全性の向上
・ロボット適用範囲の拡大
・現場判断の迅速化
・市場の国際化

防災ロボット事業環境と市場の整備

ロボット適用に必要な制度と環境の整備

ロボット使用制度・環境整備・調達
・災害対策基本法に基づいたロボット使用制度の整備
・国交省・防衛省・消防庁・警察庁・海上保安庁等，政府機関が，積極的にロボット配備を検討
・老朽化インフラ・産業設備維持でのロボット積極的活用
・調達を進めやすくするための，最新技術情報，現場環境での実用性能評価情報の提供，カタログ化
・海外への技術・製品情報の相互流通，売り込み

防災ロボット配備と適用のバリア低下

（6）原子力分野におけるロボット技術の今後の取り組みと将来課題

今後、福島原発の廃炉に関しては、中長期ロードマップ[1]によれば、今後30〜40年かかると考えられている。福島原発の廃炉は、通常の運用を終了した原子炉の廃炉とは全く異なる。建屋は水素爆発によって大きく損傷し、大量の汚染物質や汚染水が放出されており、内部の状態もよくわかっていない。予測できない要因も多く、調査を行い、徐々に内部の状態に関する情報を収集し、状況を明らかにした上で、次の方策を考え、必要な機器を開発・投入し、次のステップに進む、という試行錯誤を繰り返し行う必要がある。ここでは、どのように作業を行うかのソリューション導出、システム設計・インテグレーションが重要となる。除染、汚染水の漏えい箇所の特定・補修、燃料デブリの調査・取り出しなど、人が行うことが困難な作業が目白押しであり、廃棄物や汚染水の処理においても、遠隔技術で行うことが求められる。今後の廃炉の成否は、まさにロボットや遠隔操作機器の開発にかかっている。今後、楢葉に建設予定のモックアップ施設も活用しながら、廃炉措置に必要となる様々なロボットや遠隔操作機器を随時開発し、導入していく必要がある。

原子力分野において求められているロボット技術は、基本的には遠隔操作機器がほとんどである。しかしながら、動作環境は狭隘で、障害物などが多い、複雑な環境であることが多い。不整地、階段、はしごの移動、さらには、水上、水中、空中などでの作業など、多様な環境での移動・動作が求められ、今後、特殊環境移動・アクセス技術のさらなる開発を行う必要がある。また、遠隔操作においては、通信が極めて重要である。無線通信／有線通信における大容量・安定通信技術（ケーブルのハンドリングも含む）の確立も課題である。さらに、遠隔操作を容易にするための空間認知ヒューマンインタフェース技術や、操作性を向上させるための自律化・知能化技術などの開発、点検・診断・保守のためのロボット化計測技術の開発も、これからの課題である。

今後、さらに放射線量の高い環境で作業を行うことが想定されるが、重量の制約から、ロボット自体を遮蔽することは有効ではない。耐放射線性に優れたデバイスや、除染性・耐久性・保全性に優れる高信頼で使いやすい実用化システム技術がさらに要求されると予想される。

また、福島原発の廃炉のためのロボット技術開発を中核としつつも、今後の原子力施設の廃炉・解体のためのロボット技術開発、原子力事故への備えとしての災害対応ロボット技術開発を推進する必要がある。そしてさらに、それらの実証試験、機能評価、オペレータの訓練も含め、開発されたロボットや機器を継続的に運用する体制・枠組みを構築していく必要がある[2]。

参考文献

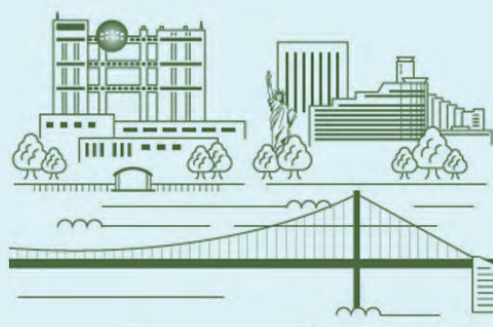
[1]　http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/roadmap/conference-j.html
[2]　産業競争力懇談会「災害対応ロボットと運用システムのあり方プロジェクト」最終報告書，2013.

～テストフィールド～

ロボットが発揮できる性能は使用条件に大きく左右される。たとえば、災害対応ロボットは、瓦礫、土砂、浸水、汚染、火災などの厳しい条件下でロボットが作業を行う必要があり、それを使用するユーザも同時に厳しい環境や制約条件下での作業を強いられている。災害復旧や予防のためのロボットについても、人間のアクセスが困難な高所、狭所、水中、汚染、危険箇所などで作業を行えなければならない。

ロボットの実用性能を高めるには、使用される現場環境やそれを模擬したテストフィールドでユーザの視点から試験を行わなければならない。実際に使用する上での問題点を洗い出し、必要な改良・改善を図ることは、適切な試験によってはじめて可能になる。わが国のロボットの産業化のためには、それを長期間にわたって繰り返し、継続することによってロボットの実用性能を磨きあげることが必要であり、そのための制度や環境の整備が急務である。

田所 諭（東北大学大学院 情報科学研究科 応用情報科学専攻 災害科学国際研究所）

5-6

～NIST性能評価の標準化～

米国立標準技術研究所（NIST; National Institute of Standards and Technology）では、国内外のユーザ、メーカ、研究者などと協力し、地上走行型災害対応ロボットの性能をフィールド評価する方法の研究を行ってきた。現在それはASTMの標準として策定され、全世界４カ所（米国：NIST、Southwest Research Institute、ドイツ：Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung、日本：国際レスキューシステム研究機構）に試験設備を設置している。

災害対応ロボットに求められる機能や性能、環境条件、耐久性には、5.1.2に述べたように様々な要求があるが、NISTでは、地上走行型ロボットについては、運動性能、安全性・耐久性、物体のハンドリング、人間システムインタラクション、無線通信、エネルギー、センサ・センシング、ロジスティクス、専門用語などについて標準化を進め、2013年現在で15のASTMの標準規格が作られている。

標準化の目的は、米国の緊急対応組織が政府予算でロボットを調達し配備する際の基準を定めること、性能評価法を明確化・基準化することでロボットメーカや研究機関が研究開発や改良の目標を定め易くすること、ロボット操縦の熟練度の基準を定めることによって使用訓練の指針を立てやすくすることにある。それによって災害対応ロボットの市場を整備し、産業競争力の強化を図ることがねらいである。

田所 諭（東北大学大学院 情報科学研究科 応用情報科学専攻 災害科学国際研究）

5.3. フィールドロボットの新しい視点

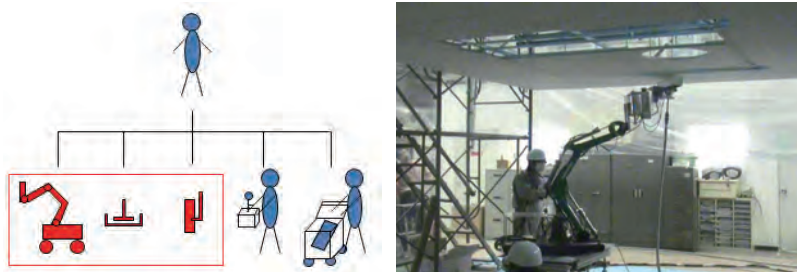
これまでのロボット開発は個別のニーズに基づき、人を代替えするものとして進んできた。しかし、人ができることは人でやれば良く、事実、多くの研究開発が日の目をみることなく今日に至っている状況がある。一方、極限作業に代表されるような人が近づけない環境下の作業は、人で代替えができないものであり、ロボットでしかやれないものといえる。したがって、極限作業ロボットは、原子力分野をはじめ、多くの実用実績がある。しかし、極限作業そのものがすぐにやる必要のないものでもあるとの意見もあり、原子力を除いてその市場性は大きいとはいえない。すなわち、“人に代わって”というニーズがロボット化を大きく推進するものでなく、今より“安く早く安全に”できればロボットを導入するという消極的ニーズに過ぎな

いともいえる。これまでのフィールドロボットは、典型的な人作業の代替えであり、その意味ではロボットの普及は進んでいかない状況にあるともいえる。

そこで、発想を変えて、“ロボットが存在しないとシステムそのものが成り立たない”ものがあるとすれば、ロボット市場は爆発的に増えるとの仮説を展開してみる。当然、そもそもロボットがないといけないシステムをつくる必要はないとの考えもあるので、ロボットオリエントなシステム作りはうまい方法ではない。幸か不幸か少子高齢化社会問題を乗りきるためには、これまでの歴史にない社会システムや暮らし方の変更や、超少人数や高齢者でも実施可能な作業システム等、社会創造ともいうべき要求課題がある。この観点でのフィールド作業システムを構築しようとすれば、まさに、ロボットがなければ実現できない多くのシステムが存在していることに気付けるはずである。このような視点でフィールドロボットの活躍の場を考えることは、意義深いもので、その考え方について、いくつかの例を紹介する。その根底にあるのは、経済規模を減らさずに現在の生活レベルを維持するということであり、いわば、ロボットが社会の一員として大きな役割を担う歴史上はじめての社会つくりともいえる。

（1）減った人数で同じ仕事：ロボット支援新工法システム

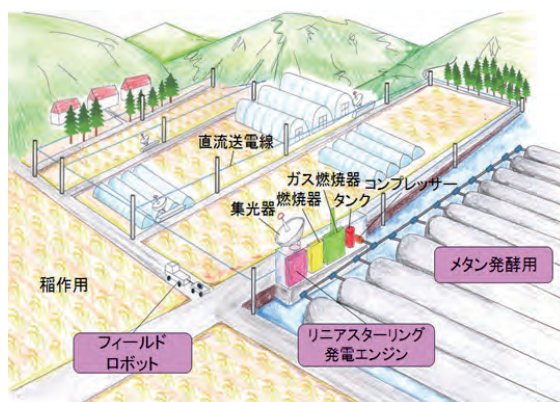
建設作業等では、若い人の参入が少なく、現状と同じ工事を実施できるかの問題が存在している。したがって、数十年先には、これまでの半分の人数で同じ作業量をこなさないと、工期が遅れ、社会の維持に支障が出ることが予想される。（図5-26）は、現状の半分の人数で同じ作業を実施できる天井ボード解体システムである。この例では、従来と同じ面積を同じ工期、同じコストで実施するシステムが作られている。このためには、人と同じ工法を自動化するのでなく、切断線（軽鉄）を検出しながら超高圧（25MPA）ウォータジェットで天井ボードを高速（1m/sec以上）で切断する新しい工法が開発されている。超高圧ウォータジェットは人に危険であること、人は切断線を目視発見できないことがあり、この工法はロボット化がなければ実現できないものでもある。人の作業はロボット移動を妨げないように、ホースと電線を裁くだけであり、高齢者にも容易な作業となっている。すなわち、人口減少社会を新しい作業システムを取り入れ、それをロボットが実現するシステムの有効性を例証したものといえる。

図5-26　天井石膏ボード解体システム

（2）過疎への対応：地産地消による経済性維持

①　水田バイオ燃料生成消費システム

過疎地問題は、単に人口の減少、労働人口層の減少、及び、高齢者の増加として語られることが多いが、過疎地域で持続的に暮らしていくための経済的豊かさを抜きに論じるのは問題がある。すなわち、過疎は暮らしを支える基盤が弱く、人口の流出を招いてきた歴史を忘れてはならない。少ない人数となっても、生き方を変えることはたやすいことではない。しかし、収入を増やすことの手段はいくつか考えられる。

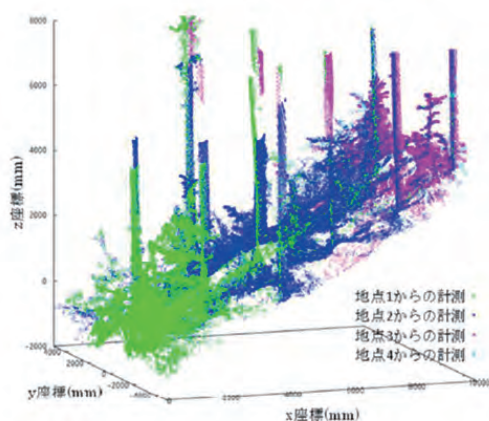
（図5-27）には、いわばエネルギーと稲栽培の二毛作ともいえるもので、空いた水田（休耕田、冬場）で、稲わらを使ったバイオメタンを作り、水田の直近での発電や給湯（暖房）、また、排ガスを用いたハウスのCO_2管理等を行うエネルギーの地産地消型システムである。藁だけの集荷は、米収穫に比べはるかに容易であり、フィールドロボットで、稲わらの刈り取り集荷や、畝つくりを実施することは困難なことではない。さらに、保守を除いてほぼ無人化も可能であり、過疎地農業を少人数で維持できる。従来の大規模化農業との違いは、はるかに少ない耕地面積で、米栽培収入と同等の電気や熱が得られることであり、山間地等への適用も不可能ではない。さらには、温室暖房費用の節約や廃熱をメタン発酵田に戻すことで、冬場のメタン発酵を促進させることができる。一方、通常水田は温室効果ガスであるメタンの大量発生要因でもあり、本システムでメタンを燃やし、電気やお湯に変えることは、自然環境の維持にもなっている。また、耕作者のいない休耕田は、耕作放棄地にもなりやすいが、それを防止し、里山の自然を守ることは持続可能な農業にとって有意義なことである。また、自然エネルギーの常であるが、生産されるメタン量は変動があるため、ロボット技術を活用した入力変動対応エンジンを投入する等、ロボット技術をフィールドに総動員したシステムとすることが肝要である。

図5-27　地産地消メタン生成・発電システム

②　山ごと保全システム

日本国土の2／3を占める森林は、木質資源の供給というだけでなく、水土保全、地球環境保全といった機能面からも近年特に重要視されている。中でも、森林資源量の計測は、森林を取り扱う上でもっとも重要な作業の一つであるが、人手による多くの労力と経費を必要としている。森林内の樹木の配位状況や形状を計測した3次元森林地図（図5-28）を作成し、計測

データから森林資源量等を同時推定し、木材生産や炭素固定など森林の多面的機能を定量的・定性的に評価する方法の開発と応用が進んでいる[1]。

これまでの林業ロボットは伐採や枝打ち等の直接作業をロボット化する観点で開発が進んできた。しかし、視点を山ごと管理することにおけば、様々なロボットの活躍が期待される。この考え方は、山全体をロボットシステムとしてとらえる発想ともいえる。すなわち、大きなシステムの中で、人とロボットが機能を相互補完し、全体として省人化、経済性向上を図るもので、人・ロボットの協調・連携をはかる試みとして、注目すべきフィールドロボティクスと考えることができる。

図5-28　3次元森林地図の例

③　6次産業支援のフィールドロボティクス

農林水産業の生きる道の一つが6次産業化といわれている。6次産業化とは、生産者と消費者を直接生産者が結びつける概念である。この概念を進めると、世界規模で生産物を集積化し、加工を行うことなども考えられる。たとえば、カツオ等の魚介類の漁場と漁港を大規模に連携し、その加工を超省人化工場で実施するシステムを構築することがあげられる。バラバラでは成り立たないロボット加工工場も大規模化することで採算を取りやすくなる。現状の仕組みをロボットで代替えするのでなく、仕組みそのものを変えることによってロボットが不可欠となる例の一つである。

参考文献

[1]　坪内孝司他，ICPを応用した傾斜地3次元立木マップの構築，第12回システムインテグレーション部門講演会（SI2011）予稿集，2011.12.23.

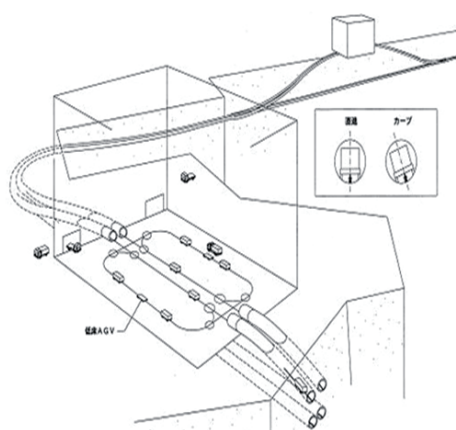
（3）過密への対応：拠点ネットワーク無人物流システム

過疎の進展は皮肉なことに、その受け皿としての都市の過密をもたらし、あくなき利便性追求によってますます進行している。この傾向は、大災害時の損失の極大化をもたらし、社会構造上の大きな問題を内包することになる。一方で、少子高齢化は都市においても急速に進行しており、局部的限界集落化は持続可能な社会保障の観点からもさけて通ることはできない問題である。また、人口の集中は避けるべきであるが、すでに便利さを手にいれた人々の賛同を得ることは容易なことではない。さらに、地方でも中核都市コンパクトシティー構想がすすみ過密問題を助長する傾向にある。

これらの一つの対策は、集中と分散を適度にちりばめたゾーンづくりである。しかし、ゾーン間を人がはげしく移動すれば、交通渋滞や排気ガス問題が発生しかねない。（図5-29）は、集中ゾーン間の無人物流システムである。ロボット専用の簡易道路やトンネルを電気駆動のフィールドロボットで結ぶ構想である。ロボットを小型化し、レール不要な走行やすれ違い走行を実現すること、また、ロボット専用路とすれば、人には不可欠な空調施設や緊急避難施設を排除することができ、走行路建設費の大幅な縮減が可能となる。都市改造には困難が伴うが、小径の低コスト大深度地下トンネルを利用することで、実現性は増すように思える。本システムのキーは人を移動させるより、ものをロボットで移動させたほうが経済的に有利な仕組みづくりにあり、この変形やそれ以外にも多くの英知を集めることができよう。

なお、このような発想は、すでに（社）日本ロボット工業会の平成15年度　社会資本構築及び維持・管理のための次世代RT（次世代ロボット技術）に関する調査研究報告書にも紹介されている。

これらの例の実現には多くのハードルが予想されるが、社会を変える重要な基盤としてロボットが役に立つ例として紹介した。新しいフィールドロボット（ロボティクス）思考の展開に役にたつものである。

図5-29　小口径地下トンネル自動搬送システム

第5章執筆者

ワーキングメンバー本文執筆者

大道　武生	名城大学 理工学部 メカトロニクス工学科
芋生　憲司	東京大学 大学院農学生命科学研究科 生物・環境工学専攻 生物機械工学研究室
田所　諭	東北大学大学院 情報科学研究科 応用情報科学専攻　災害科学国際研究所 NPO法人国際レスキューシステム研究機構
柳原　好孝	東急建設株式会社 技術研究所 メカトログループ
横小路　泰義	神戸大学大学院 工学研究科 機械工学専攻
吉灘　裕	大阪大学 大学院工学研究科 機械工学専攻 動力機械システム工学領域 コマツ共同研究講座
淺間　一	東京大学 大学院工学系研究科 精密工学専攻

本文執筆者

鈴木　裕晶　　千代田化工建設株式会社 ChAS事業本部

コラム執筆者

5-1

真野　敦史　　独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術開発推進部 技術開発企画課

5-2

吉灘　裕　　大阪大学 大学院工学研究科 機械工学専攻 動力機械システム工学領域 コマツ共同研究講座

5-3

浦　環　　九州工業大学 社会ロボット具現化センター

5-4

菅野　重樹　　早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 総合機械工学科

5-5

田所　諭　　東北大学大学院 情報科学研究科 応用情報科学専攻　災害科学国際研究所 NPO法人国際レスキューシステム研究機構

5-6

田所　諭　　東北大学大学院 情報科学研究科 応用情報科学専攻　災害科学国際研究所 NPO法人国際レスキューシステム研究機構

第5章

6 ロボットを社会実装するために

前章まで、ロボット技術の要素的な構成と、各フィールドにおける現状などをフォアキャスト的にまとめてきた。本章では、高齢社会などの将来の社会的課題を俯瞰しながら、20－30年後のあるべき社会像を描き、そのために解決しなければいけない課題、ロボットが使われる社会のイメージについて述べたい。

なぜならば、高齢社会などの社会的課題を解決するために、ロボットの必然性を直接的に説明するのはかなり無理があり、**社会的課題（デマンド）を掘り下げ、人の要求（デザイヤ）を分析し、技術的にソリューション可能な課題（ニーズ）に落とし込むことが必要**であると痛切に感じているからである。

ドラッカーは著書「マネジメント」で、「企業とは？」の問いに対して、「利益を得るのが目的ではなく、顧客創造が目的である」と書いている。結果的には利益を生むためには顧客が生まれるわけではあるが、理念として、利潤追求を先行させることは、顧客の満足度を下げることにつながり、結果的に利益は生まれない。顧客創造を最初の理念とすると、例え最初の利益回収は出来なくても、長期的には顧客満足度はリピーターとなり持続的な利潤を生むということである。

また経営学の野中郁二郎先生も「知識創造企業」の中で、イノベーションの本質について記述するとともに、フロネティックリーダーとして求められる素養として「共通善」を志向しつつ判断・行動が求められることを記述している。

本章では、フォアキャスト型の考え方を一旦止めて、バックキャストしていく中で、顧客（ユーザや社会）の求めている物、満足度はどこなのかを探ることが重要という視点で書いていきたい。

まず6.1では、ものづくりの一環としてロボットをモノとして作り、その後でサービスを生み出そうとしている現状のロボット市場創造のあり方について議論し、普及期の次世代ロボットをサービスとして利用者に提供する新市場創出のため、サービス主導のロボット設計と、ロボットサービスを実現するプラットフォーム戦略の重要性について述べる。6.2では、人口統計などを用いながら、20－30年後の社会構造を予測し、社会としてどのような状態であってほしいかの提言を行う。さらに、産業成長と競争力へ貢献するためのビジネスモデル変革の必要性についても述べる。6.3では、前節で行った提言を実現するための課題として、制度設計や社会システムの構造改革などについてバックキャストする。また6.4ではその中でも、ロボットの安全性についてのISO国際標準化活動を通じながら、生活支援ロボット安全検証センターの取り組みなどを紹介するとともに、これからの市場での強い影響力を獲得するためのデファクト標準のビジネス構造について述べる。

6.1. サービス主導型のロボット設計の重要性

6.1.1. サービス主導の重要性

モノを作れば売れる時代から、作っても売れない時代に突入した。重要なのはサービスを設計（デザイン）したうえで、必要となるモノの仕様を決め設計・実装するという、従来とは逆の設計手法が必要であるということである。

ここでは、従来の“死の谷”を乗り越えるためのシステムインテグレータの限界として、いわゆる“ダーウィンの海”を乗り越えて社会実装する際には、サービスインテグレータが重要であることを述べ、時として、サービス設計を先に行い、システムの社会実装に必要な必要事項をトップダウンに洗い出すことが重要であることを述べたい（図6-1）。

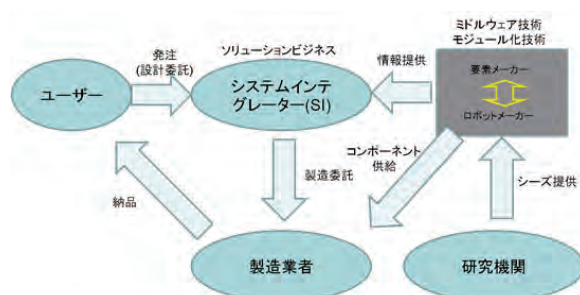
（1）システムインテグレータの限界

従来、産業用ロボットは人が行ってきた作業の代替手段として、その製造能力の高さから広く広まったといえる。産業用ロボットが広く使われるようになったのは、産業用ロボットを製造している会社は、ユーザ企業の要求を聞きながら、製造ラインとしてソリューションすることで事業化されてきたため、かかわる企業としてはユーザ企業とソリューション企業の二者であった。

2004年に故谷江和雄氏は、「ロボット市場を立ち上げるために」の中で、システムインテグレータの重要性を説いていた。このモデルは製造業者とユーザの間を取り持つ製品を媒体としたソリューションビジネスにおいて成り立つモデルであると考える。

しかしながら、生活支援ロボット等のサービスロボットを事業化するためには、ソリューション企業とユーザだけでは、ユーザの本当の需要を聞きだし、ソリューションすることが難しいと同時に、ユーザは本来、ロボットによるソリューション（サービス）を求めているのではなく、何らかの付加価値を有するサービスを求めている。この場合、多くの場合、ソリューション企業とサービス事業体とは業種が大きく異なり、ユーザ、サービス事業体、ソリューション企業の持つそれぞれの要求を満たすことが必要となってきている。

さらに難しいのは、ユーザは欲求（デマンド）はするものの、ソリューション企業がソリューションできる形での要求（ニーズ）にはなっていない場合が多いと同時に、間を取り持つべきサービス事業体は、多くの場合、サービスの効率化は意識するものの、ユーザのデマンドを解析

図6-1　システムインテグレータの重要性

し、ソリューション企業が実現できるニーズまでコンサルすることは求められていない。このような業態で、今必要とされているのは、ユーザのデマンドから、ソリューション企業が実現できるニーズまで昇華させることが出来る、コンサルテーション企業であると考える。

逆に言うと、今までのロボット開発のように、システムインテグレーション（ソリューション）企業が、市場が求めていると思っているニーズに対応するロボットを開発し、そのロボットを実証しながら、使われるところを模索するという従来のプロセスでは、時間と経費が膨大となり、ほとんどの企業は事業化までたどり着かないというジレンマに陥っているのではないだろうか？

（2）死の谷とダーウィンの海

一頃、基礎研究から製品化の間にはいわゆる「死の谷」（図6-2）が存在し、製品という一つのものとして完成させるためには、様々な技術・製品開発が必要となるといわれてきた。事実、一つのロボットを完成させるためには、ロボット要素をただブロックのように組み合わせただけでは目的の動作はしないことが多く、多くの場合、摺合せが必要であった。実際、ロボット産業は長年、この摺合せを経て、多くのノウハウを有する優秀な匠の技を有するエンジニアを輩出してきた。このノウハウを蓄積したエンジニア達が、今の日本の礎を作ってきたのは疑いようもない事実ではある。

しかしながら、実は製品化から事業化（製品が売れ、事業として成り立たせる）までには、実はもう一つ「ダーウィンの海」が存在していることを見落としがちである。多くのロボットは、現在、日本にあふれている優秀な匠の技を有するエンジニアにより具現化されているが、事業化するためこの「ダーウィンの海」を越えるには、今までのようなユーザ企業のニーズに合ったシステムを実現するだけでなく、ユーザのデマンドをニーズとしてコンサルするサービスインテグレータ、サービスを実際にユーザに供与するサービス事業体、さらにはニーズを具現化するソリューション企業との摺合せをコンサルテーションしながら「ダーウィンの海」を乗り越える、新しいやり方で事業化を行うことが求められている。

図6-2　死の谷とダーウィンの海

死の谷とダーウィンの海

Crossing the Valley of Death only to Arrive in the Waters of the Darwinian Sea

"Unlocking the Future"(1998)、L. Branscomb議会証言(2001)、C. Wessner OECD講演資料 より。

（3）サービスインテグレータの必要性

昨今のシステムの社会実装を考えると、モノはあくまでもサービスの媒体であり、サービスそのものの設計・実装が大きな価値を生むのではないか、と考えられる。この場合、ユーザの

デマンドを聞き、サービスソリューション化すると同時に、システムでソリューションできる部分については、システムインテグレータに振り分けるという、新しいサービスインテグレータの必要性（図6-3）が求められていると思われる。

サービスインテグレータに求められる素養としては、システムインテグレータが解決できる課題を理解していると同時に、社会受容を含めて、ユーザの求めるデマンドに対しサービスを俯瞰しながら複数企業をコーディネートしつつ、システムとサービスに振り分ける能力を問われる。

また、ニーズの具現化にむけたプロセスと手法に関するスキルも必要となる。以下に一例を示す。

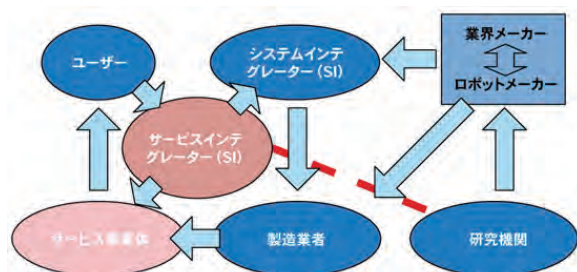
ユーザニーズを探索する段階では、現場に身を置き、ターゲットユーザの観察を通じて、ユーザ自身が自覚していないニーズやウォンツを課題定義する「課題設定能力」が必要になる。「ビジネス・エスノグラフィー」と言われるユーザへの直接のインタビューや観察の手法や、典型的なエンドユーザ像をあたかも存在する人のようにそのプロファイルを定義するペルソナ手法などが使われる。

サービスのアイデアを発想する段階では、エスノグラフィーで拾い集めた事実や気づき、ユーザとして定義したペルソナを念頭において、実現性はさておき、可能な限り大量のアイデアを出す「アイデア発想力」が必要になる。「フューチャーセッション」は、多様なメンバーとの対話を通じて発想を広げる手法であり、大量のアイデアを産み出す「ブレインストーミング」との組合せが有効である。

サービスをインテグレーションする段階では、アイデアの有効性や課題を、エンドユーザに相当する相手にテストしてもらう「アイデア評価力」が必要になる。「プロトタイピング」は、サービスアイデアを寸劇や、4コマ漫画、ショートムービーなども含めて、ユーザに説明して意見や提案を貰う手法として有効である。

サービスをプロトタイピングする過程で、サービスのどの部分をシステム化し、どの部分をシステム化しない方が良いのかも見えてくる。そのようなプロセスを経て、サービスインテグレータは、システムインテグレータに期待する部分とそうでない部分を見極め、そのサービスを成立させるための人や組織の全体像をデザインすることが必要になる。

このようにシステムなどのモノに固執することなく、最終的にユーザが何を求めていて、それをどのように提供するかに着目し、サービスデザインができる人材の育成が急務であるといえる。

図6-3　サービスインテグレータの重要性

参考文献

[1]　日本ロボット工業会："21世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書", 2001.
[2]　日本ロボット工業会："21世紀におけるロボット産業高度化のための課題と役割に関する調査研究－ロボット産業の長期ビジョン－", 2000.
[3]　日本ロボット工業会："マニピュレータ、ロボットに関する企業実態調査報告書", 2007.
[4]　経済産業省："「次世代ロボットビジョン懇談会」報告書", 2004.
[5]　経済産業省："新産業創造戦略", 2004.
[6]　経済産業省："ロボット政策研究会報告書", 2005.
[7]　総合科学技術会議："ロボット総合市場調査報告書", 2007.
[8]　谷江和雄、"ロボット市場を立ち上げるために"、東芝レビュー, Vol.59, No.9, pp.9-14, 2004.
[9]　P.F.ドラッカー、"マネジメント"、ダイヤモンド社.
[10] 野中郁二郎、"知識創造企業"、東洋経済新報社.
[11] "unlocking the future", 1988, L.Branscomb議会証言2001, C. Wessner, OECD講演資料.

6.1.2.　サービス主導の共通基盤

（1）ロボット共通基盤

2004年頃から様々なロボット共通プラットフォームの研究開発が開始されてきた。国家プロジェクトとして推進されたロボット共通プラットフォームとしては、「RTミドルウェアプロジェクト」、RTミドルウェアに対応した画像や音声認識、運動制御モジュール開発の「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」、知能化技術部品であるRTコンポーネント開発の「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」、及び、関連プロジェクト等がある。多くはハードウェアとしてのロボットやロボット部品間の連携を対象としている。

また、企業が中心となって設立した団体に「RSi（Robot Service initiative）」がある。RSiは、2004年に設立されたコンソーソアム標準の特徴をもつ業界団体であり、ロボットサービスとインターネットサービスとの融合のためのロボットソフトウェア基盤としてRSNP（Robot Service Network Protocol）を策定している。国内のロボットプラットフォームを、利用している通信方式、及びサービス指向／ロボット指向の観点から分類したものが（図6-4）である。多くの取り組みがロボット指向であり、ロボットそのものや、センサなどのロボット部品のハードウェアをネットワーク化することに重点が置かれている一方で、RSiは、インターネットを活用したロボットサービス提供に重点が置かれている。

RSiでは、ロボットサービスを、ネットワークを介してロボットが提供する情報サービス、もしくは物理的サービスと定義している。（図6-5）にサービスモデルVersion3の概要を示す。このモデルは、ユーザ、ロボットや小型ロボットを含めたモバイル端末、ロボットサービス、サービスフロントなどから構成される。また、同期・非同期の通信による動作や動作パターンの指示や結果の取り出し、ロボットからサービスへの問い合わせ・通知、サービスの提供、ユーザを含む環境とのやり取りを行うことができる。また、クラウド間連携や、データ蓄積、ク

ラウドに配備されるロボットサービス特有の仕組みについても考慮されている。ロボットをインターネットに接続する利点は、人と協調してサービスを行う「協調型」ロボットを実現できること、インターネット上のコンテンツを再利用できることである。RSiでは、このモデルに従ってサービスのプロトコルを規定しており、異なるベンダで独立して開発したロボット／サービスの間での相互運用が実現できる。

図6-4　ロボット共通基盤の位置づけ

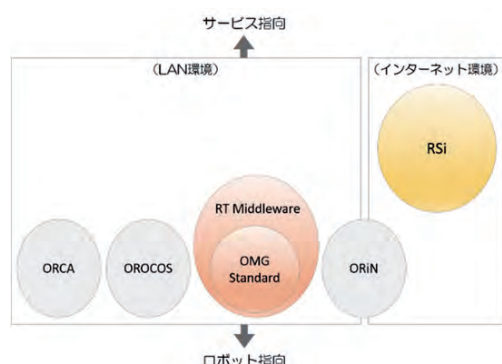
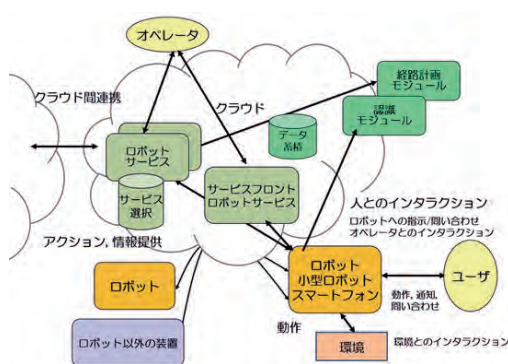



図6-5　RSiロボットサービスモデル

（2）多様な環境への適合

ロボットをサービスとして提供するためには、それぞれの分野（業種）ごとにおいて、多様な環境への適合が必要となる。つまり、顧客ニーズを満たすための、柔軟なカスタマイズや、複雑なシステムインテグレーションが求められる。例えば、従来は人にしかできなかった高度な組立作業や多機能工の作業へ産業用ロボットを適用する次世代生産方式として、ロボットセル生産がある。これは、新ロボット市場に現れつつある新たなロボット分野の一例である。このような3次元視覚などの知能化技術の導入が始まりつつあり、システムインテグレーションの高度化と、極めて多様なユーザ要求への対応が必要とされている。

これまでのロボット企業のあり方は、単機能・特定市場向けのビジネスには適していた。一方、新たなロボット分野では、ロボットの設置される特定の環境や顧客ニーズへの対応が多様化する。この場合、ロボットの適用対象領域を拡大した汎用性のあるロボットと、特定市場向けソフトウェアによるサービス開発を行うことが経済的となる。この時、ソフトウェアによって創られる価値の比重が大幅に拡大することは重要なポイントである。

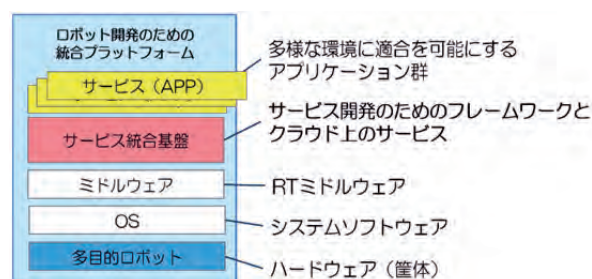
ロボットシステムの構築に必要な基本機能は、我が国のRTミドルウェアや知能化プロジェクトなどの成果やオープンソース団体のライブラリにより、様々なソースやコンポーネントが入手できるようになった。とくに、RTミドルウェアはコンポーネント指向であり、優れた部品を揃えている。今後は、これを活用した大規模なアプリケーションを構築し、サービスを実現していく必要がある。そのためには、部品化されているソフトウェアの抽象化層としてのサービス基盤を準備していく必要がある。これは、新ロボット市場での、新しい環境に簡単にサ

ービスを適用するためのアプリケーション開発など、システムインテグレーションの視点に対応するためである。また、顧客ニーズや経営の変化のスピードにタイムリーに対応するため、迅速で柔軟な対応も求められるであろう。さらに、ロボット以外の技術者や開発者、一般の開発者であっても、容易にロボット技術を利用できる仕組みを整備することで、開発ユーザを拡大し、産業領域を拡大していく必要もある。

今後のロボットビジネスでは上記を考慮し、将来的にわたって我が国の産業競争力を維持できるモデルを採用することが重要である。その場合、モジュールを呼び出すOS層、ネットワーク層をあわせ、ロボットソフトウェアの実行環境を再編成し、サービス開発者のための統合プラットフォームを提供することで、産業競争力の強化が期待できる。この基盤は、従来のソフトウェア部品を抽象化した上位層のサービス開発フレームワークとして提供される（注：名称は必ずしも一致しておらず、SDK：Software Development Kitなどと言われる場合もある）。

ロボット開発のための統合プラットフォームを（図6-6）に示す。このプラットフォームは、膨大なソフトウェアで構築される付加価値サービスを提供するための、統合プラットフォームである。これは、ハードウェア層、OS層、ミドルウェア層、フレームワーク層、各業者向けのライブラリ群など、極めて重層的なソフトウェアの層で構成され、従来開発されてきた知能化層とは異なる上位層といえる。

とくに、サービス統合基盤は、製品がマス・マーケットを目指してサービスが多様化する普及期に、新たに出現するサービス開発のためのフレームワークであり、ロボットサービスの本格的な普及、多様なアプリケーション開発の促進、キラーアプリケーションの発見のための基盤として、技術開発への取組みが必須である。

図6-6　サービス統合基盤

（出典：平成25年版 科学技術白書（文部科学省）
コラム1-4　プラットフォーム戦略より一部改訂）

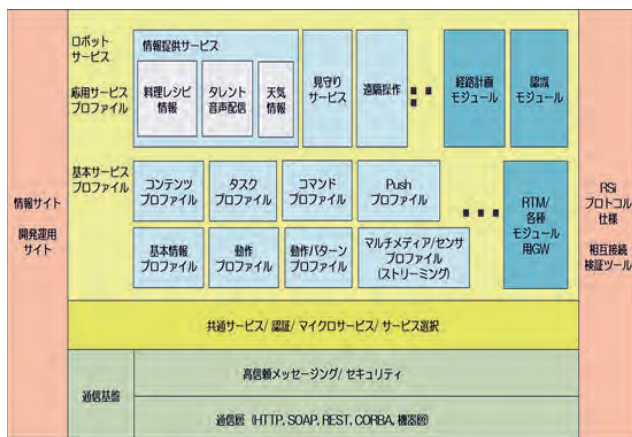
（3）クラウド適用の課題

技術の普及と、次世代ロボット市場の特性を考えたとき、ネットワーク外部性にも着目する必要がある。ネットワーク外部性とは、互換性のある財を購入する消費者の数が増えるにつれて、財を利用する消費者の便益が向上することである。最近のインターネット普及にともない、相互接続、及び、クラウド適用によるサービス提供の重要性は増している。例えば、戦略的な普及活動を行っている米国のオープンソースであるROS（6.3.2項へ詳述）においても欧州FP7のクラウドロボティクスのプロジェクトであるRoboEarthとの連携が行われており、クラウドへのロボット技術適用が模索されている。また、2011年のGoogle/IOにおけるROS-javaを搭載したAndroid-OSの携帯端末とロボットとの連携デモンステレーション、Googleの認識エン

ジンをROSへ適用した「クラウドベースのロボット把持」研究が発表されるなど、GoogleとROSの連携も活発化している。さらに、インターネットを介したROSのリモートロボットパッケージやロボット用Webアプリケーション開発への取組もある。すなわち、ロボット技術をインターネット／クラウド環境へ適用し、Webサービスとして提供する動きが活発に進行している。このように、欧米のロボット技術をビジネスへ適用するための技術動向を捉えた場合、インターネットを活用したロボットサービス提供や、リソースへのアクセスが顕著である。よって、ネットワーク外部性の促進、相互接続性に不可欠な、インターネット環境への適用を視野にいれたロボット技術開発への取組みは必須である。

RTミドルウェアは、部品化、OS非依存性のために分散オブジェクトミドルウェアであるCORBAを用いて実装している。コンポーネントモデルが明確な優れたモジュールであり、分散したRTコンポーネント間の通信も容易に行うことができる。ただし、CORBAによるオブジェクト呼出し手続きはLAN環境内の閉じたシステムを前提に行われる。すなわち、RTミドルウェアを、ネットワーク外部性、ならびに、相互接続を促進するために、インターネットやクラウドに適用しようとする際の大きな課題となる。

他方、RSNP（Robot Service Network Protocol）では、RSiの設立当初よりインターネットによるロボットサービスを対象としており、ロボットソフトウェア基盤の通信層の一つにHTTPをベースにしたWebサービス基盤を適用している。ロボットとサーバ、及び、ロボット間の、インターネット経由での双方向通信を可能とする通信モデル、Webサービス技術で標準化された高信頼メッセージング等を用いており、インターネット環境と整合性の高いロボットシステム構築を可能としている。RSNPのアーキテクチャを**図6-7**に示す。RSNPのアーキテクチャは、ロボットサービス層、共通サービス層、下位の通信層の3つの階層から主に構成される。ロボットサービス層では、ロボットの機能とロボットサービスの機能をモジュール化して提供することで、機能の異なる多様なロボットや各種サービスへの適用を可能としている。共通サービス層では、通信機能や認証機能、ロボットサービスをクラスとラングすることのできるマイクロサービス機能を提供し、通信モデルとして、同期通信と非同期通信、Pull型/Push型通信を提供する。また、下位の通信層が独立して規定されているため、HTTPのみならず、CORBA、TCP/IPなどの様々な通信層を適用することが可能である。

図6-7　RSNP3.0アーキテクチャ

（4）プラットフォーム戦略

ここで、プラットフォーム戦略として「クラウドベースのロボットソフトウェア統合基盤の構築」を提案する。普及期においては、システム構造がビジネス化へ向けて再編成される。そのため、プラットフォーム戦略への取組みが、非常に重要な意味を持つ。これへの対応を急ぐ必要がある。したがって、ロボットサービスの統合基盤の要件は以下である。

(1) マルチ実装を許容する相互運用可能なソフトウェア統合基盤を実現する。相互運用性向上への取組みは、今後の日本のロボット産業のシェア維持、及び、拡大に必要な多極化戦略である。

(2) クラウドベースのソフトウェア統合基盤は、インターネット上で、ロボット及びロボット周辺のソフトウェアモジュールを、コンテンツサービス化して提供する。インターネット上でのコンテンツサービス化には、RTコンポーネントや、知能化モジュール、RSiサービスを初めとする既存研究の成果をはじめとして、本報告書で概観した各種のオープンソースロボット機能モジュールもあわせて集約することで、リソース共有を可能とする。

(3) 上位／実用レベルの付加価値サービスアプリケーションへ発展する「核」を提供する。産業用ロボット分野から、汎用ロボット分野への適用が進行するに従い、アプリケーションプログラムやサービスの比重が大きくなり、大きな投資が必要な部分である。「核」は近い将来プラットフォームの一部に組み入れられる部分である。これら(2)、(3)により、上位／実用レベルの付加価値を検討する基盤として、迅速かつ容易に利用可能とする。

上記により、ロボットのブレイクスルー技術を、研究開発者が迅速かつ容易に利用できるソフトウェア実行環境を整備し、これまでのロボット研究成果の実装支援を推進する。これは、日本がこれまで蓄積してきた高度な技術力を集約し、効率的にビジネスを展開、市場を形成するためのプラットフォーム戦略である。

コラム 6-1

～RSi（Robot Service initiative）の取組み～

RSi（Robot Service initiative：ロボットサービスイニシアティブ）は、ハードウェア（ロボット本体）だけではなく、インターネット（クラウド）やソフトウェア（ロボットサービス）への取組みの重要性への認識から、三菱重工業、富士通、SONYが中心となり、2004年に発足した日本のロボット団体である。

（1）RSiの目標

インターネットを活用した魅力あるロボットサービスを簡単かつ便利に利用できる社会を目指し、相互運用性のあるロボットサービスについて、関連団体と協力し連携しながら仕様策定と公開、実証実験、普及促進を行うことを目的として、活動を行っている（図参照）。ロボットサービスの仕様の検討・作成・公開、開発ライブラリを公開し、サービスのプロトタイピングや評価を行い、普及促進のためのインターネット上のクラウド実行環境やサービスを継続的に運用している。尚、運営は、各団体の持ち寄りとボランティア活動で賄われている。

（2）組織

2013年10月現在、正会員として、三菱重工業、富士通、富士通研究所、セック、日本気象協会、日本電気通信システム、安川電機、ライトウェア、産業技術大学院大学、はこだて未来大学、また、協力会員として、奈良先端科学技術大学院、中京大学、名城大学、金沢工業大学、名古屋工業大学、芝浦工業大学、首都大学東京、大阪市立大学、産業技術総合研究所が登録している。

（3）RSiの活動

RSiでは、異なるベンダが独立して開発したロボットやサービスの間での相互運用を実現するためのロボットサービスモデルに従って、ロボット基盤の仕様であるRSNP（Robot Service Network Protocol）を策定している。RSNPの仕様検証としては、7回の公開実証実験が行われている。通算で6団体、8台のロボットと4社の情報プロバイダーが参加し、相互接続性の実証、仕様の十分性やサービスの有効性の検証が行わ

れた。

仕様は、2006年にRSNP1.0を一般公開し、2011年6月には、RSNP2.3を公開している。RSNP2.3では、マイクロサービスのためのロボット起点の汎用のPush通信をもサポートした。同時に、サービスやロボット開発のためのJavaベースのRSNPライブラリ実装（FJLIB）が富士通研究所から提供されている。FJLIBは、Androidを含めて動作し、すでに研究目的のアプリケーションが開発されている。また、これとは別に、Objective-C版のRSNPライブラリ（iRSNP）をiPhone上に実装し、FJLIBとの相互接続性を検証した。

ロボットを持たない多くの開発者のためのロボット研究を促すため、小型ロボットへの取組みも行われている。2011年の国際ロボット展では、FJLIBを用いたLEGOロボ、iRSNPを用いたRSiCameraRobotと、大型ロボットである富士通製のenonを使って、小型ロボットから大型のサービスロボットまで、RSNPを用いて共通で利用できるサービスを構築できることを示した。

クラウドサービスとしては、インターネット上に、日本気象協会提供による天気情報サービス、遠隔地のロボットカメラを用いた見守りサービス、防災情報サービス、企業向け開発実行環境のポータルサイトである「ロボットおでかけマップ」などがインターネット上に構築され常時運用を続けている。また、マイクロサービスを組み込み、学術研究用の開発/実行環境「ロボットマップ」を運用している。また、知能化モジュールなど国内に蓄積されたRTM/RTCなどの豊富なリソースをインターネットサービスとして展開することを目指したRSi/RTM gatewayの開発も行われている。

最近では、2012年に第1回RSNPコンテストを開催、翌年以降も継続している。さらに、ロボット技術の普及促進のため、RSNPを用いて、既存のRTCをインターネット上に公開する技術の検討が重ねられている。また、RSNPを用いたリアルタイム音声通信が実現されている。

成田 雅彦（産業技術大学院大学 産業技術研究科情報アーキテクチャ専攻）

（5）サービス主導の事例

A）相乗的な価値形成によるモノづくり

①iTunesとiPod

アップル社の携帯デジタルオーディオプレーヤーの戦略として知られているものに、iTunesが有名である。ソニーのウォークマンに端を発して携帯オーディオプレーヤーは広く普及し、CDの普及とともにデジタルオーディオプレーヤーへと移行した。音楽コンテツがデジタル化し、配信方式、圧縮方式などがプレーヤーの機種依存となりつつあった中で、2001年にアップルは、同社のMacintoshパソコン上で動作する音楽再生と楽曲管理ソフトウェア「iTunes」を公開し、そのすぐ後でデジタルオーディオプレーヤー「iPod」の発売を開始した。さらに、2003年に、iTunesを用いて、楽曲の購入とダウロードを行うためのインターネットサービスとして、「iTunes Music Store」が、iPodサービスの一部として発表された。同時に、アップル社製品の普及拡大のため、iTunesはWindows上での動作へも対応した。

iPodは、これまでの音楽コンテンツのストレージたるレコードやCDに替わり、フラッシュメモリという記録メディア、ストレージを内蔵する。これにより、音楽は、レコードやCDというメディアの流通を中心とした市場から、デジタルファイルの流通を中心とした市場へと移行した。そこでは、ネットワークによるコンテンツ提供が当然となった。iPodは、モノであるデジタルオーディオプレーヤーの開発にしのぎを削ってきた日本メーカを尻目に、ユーザが真に求めている“音楽を聴くこと”に特化した、サービスを具現化したといえる。つまり、アップルは、それまでソニーのような日本企業が先導していた機器単体の価値提供から、iPodというモノと、iTunesという楽曲管理ソフトウェア、さらに、音楽コンテンツのインターネットサービスを相乗的に組み合わせ、iPodが音楽を聴くための統合システムとして提供されるビジネスモデルへ移行させたのである。これは、後にスマートフォン「iPhone」として拡大展開されることになる。

②iPhone／Androidのアプリケーション群

相乗的な価値形成によるモノづくり、すなわち、サービス主導による競争力強化には、アプリケーションの充実が不可欠となる。スマートフォン市場におけるiPhoneやAndroidでは、このアプリケーション開発の基盤を提供することにより、サードパーティの外部知を取り込み、アプリケーションを集積することに成功している。例えば、iPhoneのアプリケーション配信サイトである「App Store」へ登録されたアプリケーション数は、2012年4月の決算発表で60万本、同じく、Androidの「Google Play」に登録されたAndroidアプリケーション数も、2012年6月のGoogle I/Oの発表で60万本を数えている。この膨大なアプリケーション群が製品の魅力の一躍を担っており、到底一企業で開発できるアプリケーションの数ではない。

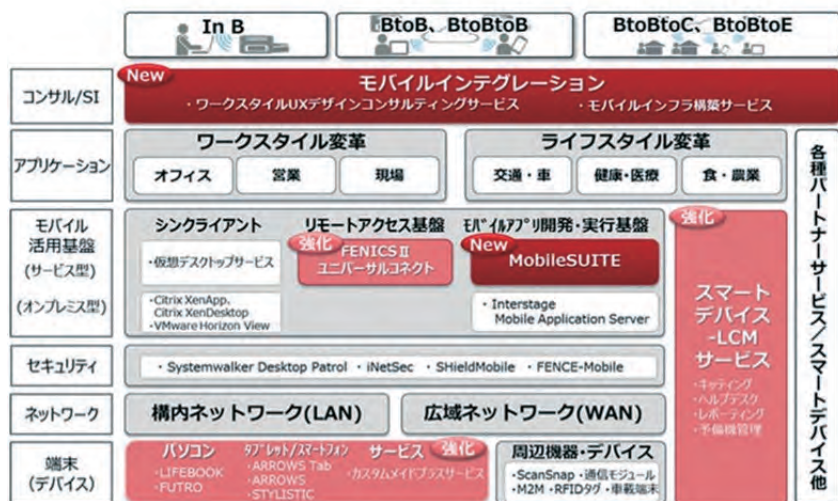
つまり、iPhoneでもAndroidでも、世界中の多様な分野の開発者が参加し、多様なアプリ

ケーションを開発するためのサービス開発基盤と、開発したアプリケーションを、ユーザへ展開、販売する仕組みを提供することにより、製品の付加価値、魅力を高めていくことに成功している。ちなみに、Google Playでアプリを配布するためのGoogle play Developer Consoleへの登録費用は25米ドル、iOSの技術リソースを提供するiOS Developer Programへの年間参加費は8,400円であり、この登録／参加料も開発基盤を提供する企業の収益となる。

B）モバイル統合プラットフォーム

スマートフォンやタブレット端末をはじめとする、多様なモバイルデバイスの普及にともなって、IT企業があがって、モバイル統合プラットフォームの展開を開始している。モバイル統合プラットフォームとは、モバイルデバイスに対応したアプリケーションの開発・実行環境の提供、クラウドや新規／既存システムとのサービス連携、アプリケーションやモバイル端末の管理、及び、モバイル端末特有のセキュリティの仕組みなどを、統合して提供するものである。

2012年5月、IBM社はMobile Foundation V5.0を発表した。Mobile Foundation V5.0では、開発実行環境としてのWorklight、管理とセキュリティのためのEnd Point Manager、クラウドや企業システムとの連携のための仕組みのCast Ironを提供し、企業におけるタブレットやスマートフォン活用を促進する戦略である。SAP社からは、Sybase Mobileプラットフォームが発表されている。さらに、2013年8月には、富士通からFUJITSU Mobile Initiativeが発表された（図6-8）。FUJITSU Mobile Initiativeでは、PaaS型クラウドによるアプリケーション開発実行環境や、デバイス管理、認証やセキュア配信のためのセキュリティの基盤としての「MobileSUITE」、サービスへのリモートアクセス基盤である「FENICS Ⅱ ユニバーサルコネクト」等を統合し、モバイル統合プラットフォームを提供する。続いて、2013年9月に

図6-8　FUJITSU Mobile Initiativeの体系

（出典：富士通プレスリリース：2013年8月27日）

は、Oracle社が、同社のこれまでの開発フレームワークや、ミドルウェア技術を適用したモバイル統合プラットフォーム構想を発表している。Microsoft社も、同社の組込みOSであるWindows Embeddedを、小売業、医療、製造、自動車等の各分野へ適用するための展開を行っている。

IT業界の各社が、多様化するデバイス端末へサービスを適用するためのプラットフォーム戦略を着実に推進している。放置すれば、ロボットも一つの端末として、世界的なIT企業が展開するプラットフォーム戦略に呑みこまれることになる。ロボット業界においても、我が国から主導的にロボット統合プラットフォームを展開していくことが必須である。

参考文献

[1] ロボットサービスイニシアティブ（RSi：Robot Service initiative）http://robotservices.org/
[2] 成田雅彦ほか、“インターネットを活用したロボットサービスの実現と開発を支援するRSi（Robot Service）の取り組み”日本ロボット学会 vol.28 No.7 pp829-840（2010）.

6.1.3. ロボット技術とITの融合によるサービス創出

社会インフラは、情報処理技術、ネットワーク技術、センサ技術の普及により、IT化の流れが加速している。従来は企業内業務のIT化による業務の効率化・高度化が中心であったが、現在ではインターネットを通じた顧客接点のIT化によるビジネス拡大やサービスレベルの向上が実現されている。今後は、IoT（Internet of Things）やM2M（Machine to Machine）技術の進展により、スマートシティなどによる社会インフラのIT化が進み、環境変化を捕捉して社会インフラをリアルタイムに制御することで全体最適化することが可能になっていく。このような変化は、医療・防災・交通・行政・エネルギー等、様々な社会インフラへと波及している。また、本当に効果的な成果を上げるために、物理環境に能動的にアクションを行う事で、生活行動や企業活動を支援する事ができる。つまり、IT化の流れにおいてもロボット技術と融合することで、多様な社会課題にも自律的に対応できる世界を実現するようになるだろう。

（1）つながるデバイス

従来からある身近なモノ、自動車、メータや家電であったり、環境モニタリングのためのデ

バイスが、今後はネットワークにつながりながら、センサシステムや遠隔デバイス管理システムを実現するようになる。

大量の「もの」（センサ・デバイス）が繋がり身の回りを覆い尽くす。さらに様々な領域のデータと連携し、M2M市場の拡大が期待される（表6-1）。

これらが活発になった要因として、CPUを含めた高性能化、小型化、汎用化があげられる。スマートフォンに代表されるスマートデバイスは今や世界で普及率が8割を超える国も多く出てきている。また、同時に無線でのブロードバンドネットワーク環境の充実も、これらの流れに拍車をかけており、これまで接続できていなかったデバイスが参加しやすい環境が整いつつある。

まだデバイスをネットワーク接続するための導入コストネックが存在する場合もあるが、それも今後は改善される事が想定され、これまで以上に身近なデバイスが、ネットワークに参加していく事で様々な情報をやり取りするコミュニケータの役割を担ってくるだろう。

また、この流れはさらに加速する見込みで、これらが高度化する延長上に、ロボット、あるいはロボット技術を搭載した機器が数多く存在し活躍することが想定される。

一方で、課題も顕在化しており、例えば人の行動やその周辺情報、またその人の嗜好について収集が可能になる。そのため、情報デバイスが繋がる事によるプライバシーやセキュリティに関する問題も同時に議論されており、このような内容がロボットを活用したサービスでも注意していく必要があるだろう。

表6-1　M2M市場の需要

	もの	推計数（万）
1	電子書籍端末	690
2	デジタルフォトフレーム	300
3	屋内外電子公告	200
4	自動車	7800
5	自転車	7900
6	IT・白物家電	60000
7	パソコン	5200
8	自動販売機	520
9	電気・ガス・水道メーター	24000
10	街路灯	4700
11	自然環境調査用センサー	3800
12	河川流量監視センサー	100
13	農業用センサー	185100
14	その他	16690
	計	317000

（出典：想定されるM2Mサービスの需要母体 2011　総務省総合通信基盤局）

（2）情報通信システムの変化

従来、情報通信システムは、各企業や自治体など、いわゆる事業単位ごとに開発を行う専用システムでの開発が主であった。そのため、設備も事業者が所有する形態で開発が行われていた。しかし、その後ネットワーク網も整備される中で、個別にシステム開発をするよりも、共通のサービスはネットワークを介して接続する、あるいは個別システムを最適化し、業務単位ごとに作り直し、それらのサービスを繋ぐ技術、SOA（Service Oriented Architecture：サービス指向アーキテクチャ）を採用することで、柔軟なサービス利用型の形態がとれるようになってきた。

さらには、クラウドコンピューティングの台頭により、自らは、情報通信システムの設備投資を行わない、いわゆる「所有から利用」と言われるサービス利用型の形態に移行してきてい

る。この事により、初期導入の障壁をさげるとともに、保守運用面の負担軽減など、ランニングコストや比較的容易にシステム導入に踏み切る下地ができてきている。

今後は、前述の通り、これら情報通信システムの流れに多様なデバイスが接続され、サービス構築が広がることが予想される。つまり、M2M（Machine to Machine）と呼ばれるモノ（機械）とモノ（機械）がネットワークを用いて、データを集め、処理し、活用することにつながり合う仕組みやその通信形態を考慮する必要がある（図6-9）。

図6-9　M2Mネットワークによる情報収集

また、これらデバイスが繋がるM2Mにおいてもクラウドサービスにより実現することが今後出てくると想定される。この事のメリットは、導入期間の短縮やシステム構築・運用の効率化、様々なデータの集約化あるいは連携など、クラウドならではのメリットが得られ、多様な分野の業務間連携やデータ間連携による新サービス創出の可能性が生まれる（図6-10）。これらの流れは、まさにロボットが一連のサービスに参加し連携するためのプラットフォームとして機能していくものと想定される。

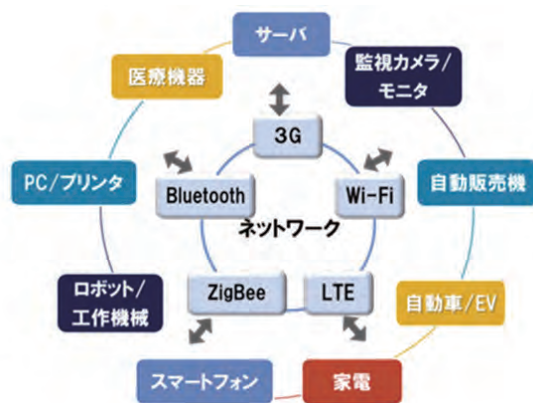



図6-10　クラウドサービスによる情報集約

（3）M2Mとロボット技術の連携

サイバーフィジカルシステムの技術により、実世界の多様な情報をセンサから収集して把握し、デバイスやロボット等を通じて実世界を直接制御することで、様々な社会課題が解決されるようになることが期待されている。

また、前述のM2Mによるデバイス管理と同様に、ロボット技術にもクラウドコンピューティングと組み合わせた、クラウドロボティクス（図6-11）と呼ばれる動きがある。

これは、名前の通り、クラウドコンピューティングをロボット技術に活用することである。ロボット技術のネットワークへの参加により、膨大な計算資源を使用し、知識の蓄積を行うことで、知能化を加速するという考え方である。このコンセプトのメリットは、“ロボットを軽く/安く/賢くできる”という点がある。

ロボット技術が市場に出回る際、機能分散を可能にすることで、外部サービスとの連携や協調の恩恵を受けることができる。つまり、従来のロボットが一体型でサービスを提供する概念ではなく、空間がロボット化し人へサービス行動を行う。あるいは空間や環境、あるいはインターネットの情報を用いて、人の身体能力の拡張を促す、という形でサービスを実現する事が可能になる。

図6-11　クラウドロボティクス

（4）ビッグデータとオープンデータ

最近は電力見える化や、バイタルセンシング、環境モニタリングなどが、エネルギーマネジメント、少子高齢化、公共インフラ保守など、社会の要請とともに増えている。また、パーソナルデータにおいても、スマートデバイスの台頭により、位置情報にとどまらず、行動履歴やそれに基づく趣味嗜好などの情報も分かる環境が整ってきている（図6-12）。それらの背景をもとに、見える化、データ蓄積、制御・フィードバックするサイクルが重要になってきている。とりわけ、蓄積したデータからどのような分析を行うかは重要な要素であり、ビッグデータが加速している（図6-13）。

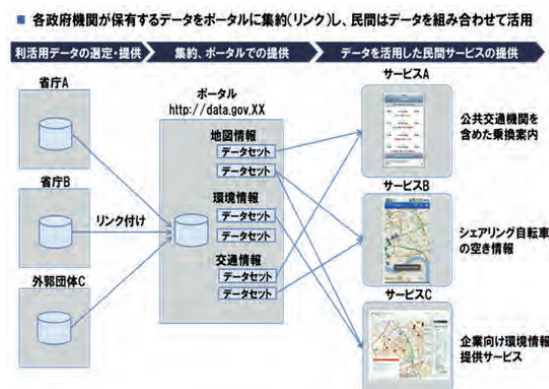
図6-12　各分野で収集されるデータ例

分野	収集されるデータ（例）	実現できるサービス（例）
医療	・健康情報（身長、体重、体温、血圧、脈拍） ・飲食物（カロリー、栄養素） ・活動量（歩数、移動距離、睡眠時間）	・健康管理・疾患予防 ・メタボ予防・ダイエット ・診療支援
農業	・気象情報（天気、気温、湿度、日照時間、風向） ・気体濃度（CO_2、O_2） ・土壌水分量	・野菜工場・農業自動化 ・出荷時期の制御 ・生育情報のマーケットプレイス
エネルギー	・電力使用量 ・水道使用量 ・発電量	・スマートグリッド ・BEMS ・発電計画の策定支援
交通	・車両情報（位置、速度、車間距離、故障） ・人流の能動情報 ・EV充電ステーション情報（位置、使用状況）	・渋滞予測 ・故障・事故の緊急通報 ・都市計画の策定支援
防災	・気象情報（雨量、風速、積雪量、落雷） ・河川水位 ・土砂移動量	・各種災害の被害予測 ・注意報・警報 ・ハザードマップ作成

ビッグデータの定義は様々あるため、ここは多くは触れないが、基本的には、ビッグデータは、単に量が多いだけではなく、「様々な種類・形式のデータ」や「日々膨大に生成・記録される時系列性・リアルタイム性のあるデータ」である。その中において、前述のM2Mで扱われるデータは、ビッグデータを推進する要素のひとつとして重要な役割を担っている。

さらに、これらデータ活用の推進に

図6-13　収集データの組み合わせ例

第6章

おいては、国レベルで動きが活発となっている。現在、各国政府が主導的にオープンデータの流れが具体化してきており、2014年1月現在、世界40カ国以上でポータルサイトを開設し、政府が保有する公共データを公開し、サービス創出に役立てており、今後も拡大する傾向にある。

例えば、英ロンドンでは、保有するリアルタイム交通データを活用し、地下鉄の運行情報から、電車が止まった際の代替ルートや所要時間を提供する、といったサービスが実際に起きている。日本においても、政府主導の元、オープンデータの推進が行われている。自治体レベルでもすでに先行して動いており、公共設備の所在案内や自転車シェアリング等のサービス構築が可能なデータ公開を進めている（図6-14）。

現時点では、まだ情報の提示のレベルにとどまっているが、これらの環境情報のデータ活用とロボット技術とをネットワークを介して組み合わせることで、振る舞いやコミュニケーションの際の情報の積極的なレコメンド、生活行動の積極的な支援など、幅広い用途に活用できるサービスとなる。今後は、ロボットがこれらのビッグデータへのインプット、分析から得られるサービスの物理空間におけるポータルの役割を担うことになるといえるだろう。つまり、これらデータとの連携を前提としたロボットシステムが今後は重要になると想定され、それらを前提としたシステム開発が求められるだろう。

図6-14　オープンデータの活用事例

（出典：データカタログサイト試行版）

6.1.4.　サービス主導型ものづくり事例

C）　老舗旅館　加賀屋

老舗旅館加賀屋では、旅館のもっとも重要とすることは顧客満足度を上げることであるとして、顧客満足度に関係しない部分の自動化を行っている。

例えば、お膳に載った料理を仲居さんが運ぶのを、客が見ても顧客満足にはつながらないとして、料理の搬送にはエレベーターと搬送ロボット（図6-15）が使われ、ほぼ自動化されている。

つまり仲居さんのサービスは顧客の満足度を上げることに集中することが出来るため、例えば、仲居が客室に張り付く機会が増えることにより、顧客の情報（たとえば今日が客の誕生日

など）を仕入れることが可能となり、そのことによる特別サービス（この場合、女将の判断によるケーキなど）を可能とし、サービスクオリティが上がることにより、顧客満足度は上がり、リピーター率が上昇したという。

図6-15　加賀屋 雪月花の自動搬送システム

（出典：公益財団法人 日本生産性本部 加賀屋新棟「雪月花」の「自動搬送システム」。左は調理場の搬送システム入口。右は搬送中の料理ワゴン。）

6.2. あるべき社会像

6.2.1. 社会的課題

（1）世界的な人口の状況

世界の人口の動向（表6-2）としては、2005年に世界の総人口は65億人、2050年には91億人に達すると予測されている。

世界的に65歳以上の人口比率は先進諸国を中心に高まりを見せており、2050年には全体で16.2%、特に先進地域では26.2%にも達すると予想されている。その中でも日本の高齢者化率の伸びは群を抜いており、世界に先駆けて、今まで世界が体験したこともないような超高齢社会が目の前に来ていることは避けられないようである。

このように、未曽有な“高齢社会”に対応するために、生活支援ロボットが期待されているのも頷ける。日本では、国立社会保障・人口問題研究所（H25年3月推計）が、現在全国で65歳以上の高齢化率は23.0%であるが、2060年には高齢者化率39.9%にまで達すると予測されている。

特に特筆しなければいけないのは、就労人口といわれる15－64歳の人口比率が、2010年には63.8%であったものが、2060年には就労人口比率50.9%までに下がってしまうことである。高齢者が増える中で就労人口が減り、少ない就労人口で高齢者を支えなければいけない社会が来ることは明らかである。

表6-2　世界の人口動向

	1950年（昭和25年）	2005年（平成17年）	2050年（平成62年）
総人口	2,529,326千人	6,512,276千人	9,149,984千人
65歳以上人口	130,543千人	472,589千人	1,486,861千人
先進地域	63,927千人	186,347千人	334,153千人
開発途上地域	66,616千人	286,242千人	1,152,708千人
65歳以上人口比率	5.2%	7.3%	16.2%
先進地域 注2	7.9%	15.3%	26.2%
開発途上地域	3.9%	5.4%	14.6%
平均寿命（男性）注1	45.2年	64.2年	73.3年
平均寿命（女性）注1	48.0年	68.6年	77.9年
合計特殊出生率 注1	5.0	2.7	2.0

（出典：UN, World Population Prospects : The 2008 Revision）
（注１）平均寿命及び合計特殊出生率は、1950－1955年、2000－2005年、2045－2050年
（注２）先進地域とは、ヨーロッパ、北部アメリカ、日本、オーストラリア及びニュージーランドからなる地域をいう。開発途上地域とは、アフリカ、アジア（日本を除く）、中南米、メラネシア、ミクロネシア及びポリネシアからなる地域をいう。（http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2010/zenbun/pdf/1s1s_5.pdf）

（２）各地域が抱えている諸問題

日本全国各地域でも、高齢社会の波は押し寄せている。特にもともと過疎の地域では、人口統計的に高齢者化率が上がるのに加えて、若手が都会へ大学入学や就職を機に出てしまうと二度と戻ってこないため、就労人口が減るだけではなく、若手の減少による出生率の減少が、高齢者化率上昇に拍車をかけている。

例えば、宮城県気仙沼市の統計データを見てみると、市町村合併により一時的に人口が増加しているものの、地元の高校を卒業すると、大学や就職で地元を後にすることで人口が減少、同時に出生率も減少しているのが見て取れる。宮城県気仙沼市は**2040年には高齢者化率47.5%、就労人口は45%まで下がることが予測**されている。

このような地域の状況は、決して地方特有のことではなく、東京周辺でも1960－1980年代に作られた新興住宅地は、深刻な高齢化が進み、多摩では2040年に高齢者率38%、就労人口比率53%になる予想がされている。すでにニュータウンなどでは、高齢化によりスーパーや交通インフラなどが撤退し、高齢者だけが生活し活気のなくなった「限界集落」は都会周辺にも多く見受けられる。

第6章

参考文献

[1]　UN, World Population Prospects : The 2008 Revision.
[2]　気仙沼市統計書（平成23年度版）.
[3]　国立社会保障・人口問題研究所，（H25年３月推計）.

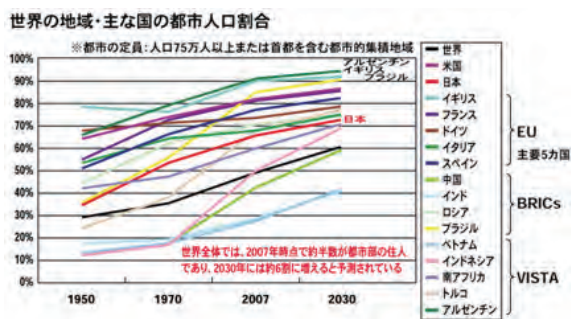
[4] 高齢化の国際的動向,
http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2010/zenbun/pdf/1s1s_5.pdf

（3）世界的な都市化の流れ

人口の変化で、もう一つ注目する点は「都市部への人口集中」である。図6-16は、国連が出している都市部への人口集中が今後どの程度進んでいくか、という予測である。2007年現在、イギリス（都市人口割合88.9%）、米国（81.4%）、フランス（77.1%）、スペイン（77.1%）など、先進国では都市部への集中度が高い。これは、産業構造が第1次産業（農兼や鉱業など）の割合が減少し、第3次産業（商業、金融、運輸、サービス業など）へのシフトが進んでいることと密接な関係がある。第3次産業のために必要なのは「人」であり、人が増えるほど第3次産業を呼び寄せる。経済の成熟化に伴う産業構造の転換によって、都市集中が進むのは必然的な流れである。

また、これと併せて都市の運用にも目を向けていく必要がある。電気、ガス、水道等のユーティリティの設備、スマートシティを目指した効率的なインフラの運用、過密化による防災への準備などが必要となる。併せて、都市化にともない過疎化も進む。このことと高齢化を照らし合わせてみると、都市部と過疎地に住む事への対応が求められる。都市への集中は、自然に都市に人が集中するという流れに加えて、先進国が新興国から優秀な人材を引き抜く、自然災害により住める土地が減る、人口を集中させないとインフラクライシスに対応できない、等の要因が関係している。

これらを解決するために、ロボット技術を活かした自動運転や移動支援、効果的な人流や物流の誘導、また生活行動を円滑に行うためのコミュニケーションを支援する事など、街全体がロボット技術を浸透させた形でのサービスが求められるだろう。

図6-16　世界の地域・主な国の都市人口割合

（出典：World Population Prospects : The 2008 Revisionより作成）

6.2.2. あるべき社会像

（1）議論

このような前人未到の高齢者率になった社会において、どのような社会であると幸せに暮ら

せるかについて、以下のようなところで議論が始められている。

- COCN 産業競争力懇談会　「活力ある高齢社会に向けた研究会」
- 東京大学　「高齢社会総合研究機構」、2009.4 –
- 産総研　「活力ある高齢社会づくり」FS、2011.6 –

ここではそれぞれの詳細については論ずることは避けるので、資料を参考にされたい。

（2）健康の定義

この時に重要と考えるのは、何をもって人それぞれが健康であるといえるか、に帰着する。WHOの健康の3要素としては、「生体機能」「活動レベル」「社会参加」であり、その作用因子としては「環境因子」と「個人因子」に分けられる。生活支援ロボットはこの中で環境因子として位置づけられる。

通常、高齢化のプロセスとしては、腰痛などによる生体機能の低下は、外出などの活動レベルを連動して下げることとなり、そのことにより、隣人などとの会話が少なくなるという負のスパイラルを生み出す。

特例としては、2011年の東日本大震災において被災地で起こった現象は、仮設住宅などに入れられることにより、社会参加が低下し、そのことにより活動レベルと生体機能低下という逆の負のスパイラルが生じている。このことは生活不活発病（廃用症候群）などと呼ばれ、最悪の場合、孤独死を招くことが危惧され、被災地などでは心のケアが呼びかけられている。

ただここで見落としてはならないのは、それぞれの因子は因果関係を持つので、単に活動レベルを上げればよいというものではないということ、さらには、活動支援技術を定常的に使うことで、個人因子である個人固有の筋力低下を招く可能性もあるということを注意したい。時としては、支援ツールが個人の持つ活動能力を低下させる危惧がある場合は、支援ツールの使用をさせないなど、やりっぱなし・渡しっぱなしの支援ではなく、寄り添いながら必要な時と、敢えて活動支援をさせない判断をするケアマネージャーなどのサービスが重要となるであろう。

環境因子としての支援ツールである製品群を、間違った使い方をしないようにケアするサービス事業体は、今後その必要性が高まるものと考えられる。ある意味で街ぐるみで社会保障サービスを実現しなければいけないのかもしれない。

（3）高齢社会のあるべき姿

ここまでの内容から、高齢社会のあるべき姿を想像してみると、それは“ヒトのいないスマートシティ”ではなく、“例え利便性や経済性があまり高くなくとも、各世代の人々のつながりによって、心身とも健全な社会ではないか”、と思いたい。

高齢社会のあるべき姿として、産総研のプロジェクト内の1グループは以下のような仮定を置いた。

「様々な経験を有する異なる年齢、性別の人間が、お互いに持続的に信頼を持って係わり合い（つながり）を構築することで、個としての心理的な安心が得られる社会」

言わずもがなではあるが、個人の生活に対しての姿勢、理念、ポリシーは、個人の自由を原則としているので、社会全体を俯瞰した場合の、高齢社会として、すべての年齢構成者が、“物理的な健康”と“心理的な健康”を得られることが、とりもなおさず、健全な社会につながるものと信じたい。

高齢社会を不必要に危惧する必要はなく、最後まで心身ともに健康で、人にも迷惑をかけずに、如何に天寿を全うするかを考えると、死ぬまでの心身共の健康度を如何に維持出来るかが、鍵であるという考えが起こりつつある（ピンピンコロリ）。退職後に要支援・要介護にならずに、自分の世話を自分でしながら、自立した生活を行う期間を増やせば増やすほど、要支援・要介護の税金とマンパワーを必要としないだけではなく、本人も人として健全な生活を全うできるのではなかろうか。

ただし、上記の仮定に基づく理想の生活を送るためには、社会システムとして人のつながりを維持すると同時に、万が一の場合を守ってもらえる社会保障制度などの拡充とともに、可能な限りいざというときに看取れる体制、同居よりは近居を可能とする街づくりが必要とされているのかもしれない。このような街づくりの事例については後述したい。

参考文献

[1]　東京大学・COCN共同研究「活力ある高齢社会に向けた研究会　報告書、2011.
http://www.cocn.jp/common/pdf/thema36.pdf
[2]　ICF国際生活機能分類
http://www.geocities.jp/zizi_yama60/base/ICF.html
[3]　大川弥生，「よくする介護」を実践するためのICFの理解と活用，中央法規出版，2009.
[4]　活力ある高齢社会づくりフィージビリティ・スタディ活動報告書，2013.

（4）高齢社会の尺度

高齢社会のあるべき姿を判断する尺度として、以下のようなものが考えられるが、

1．利便性（エネルギー・交通）
2．経済性（GDP：国内総生産，GNP：国民総生産）
3．安全性
4．安心度
5．幸福度（GNH：国民総幸福量、1. 心理的幸福、2. 健康、3. 教育、4. 文化、5. 環境、6. コミュニティ、7. 良い統治、8. 生活水準、9. 自分の時間の使い方の9つの構成要素）
6．信頼度（ソーシャル・キャピタル）

1－3が物理的な満足度を示すのに対し、4－6は心理的な満足度を示すものであり、特に心理

的な満足度の評価尺度の選択は難しいといえる。

国民総幸福量は、1972年にブータン王国の国王ジグミ・シンゲ・ワンチュクの提唱で、ブータン王国で初めて調査され、以後、国の政策に活用されている。ブータンでは、国民一人当たりの幸福を最大化することによって社会全体の幸福を最大化することを目指すべきだとする考えから誕生したものである。現在、ブータン政府は国民総幸福量の増加を政策の中心としている。政府が具体的な政策を実施し、その成果を客観的に判断するための基準にするのが主な用途で、1990年代からの急速な国際化に伴って、ブータンで当たり前であった価値観を改めてシステム化する必要があったという。

日本でも前安倍政権時代に、**「ソーシャル・キャピタル（社会関係資本）」**の調査が行われ、平成19年版　国民生活白書（参考資料：　http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r98520000011w0l-att/2r98520000011w95.pdf）に書き込まれ、ソーシャル・キャピタルが高いと出生率も高い、という相関関係が例示されている。

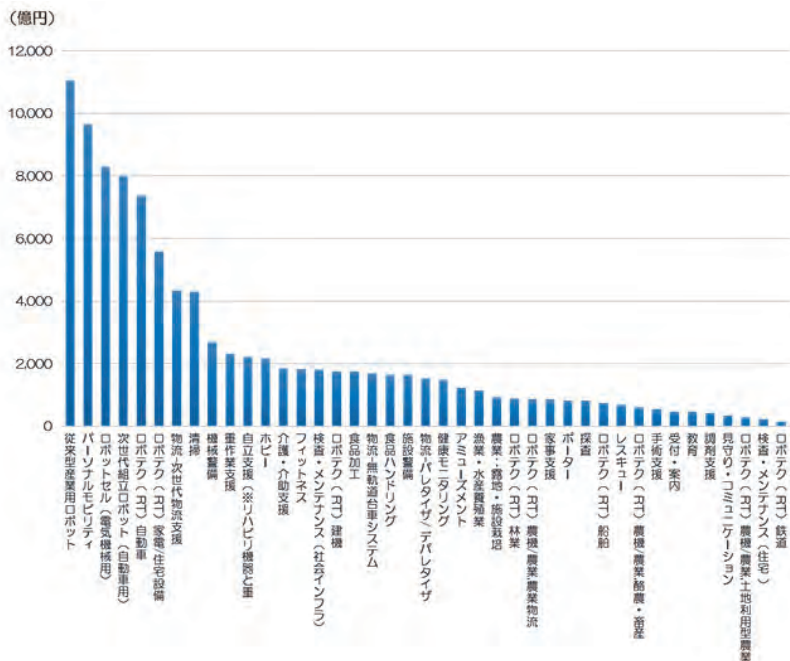
WHOは、肉体的な寿命に対し、**「健康寿命（日常的に介護を必要としないで、自立した生活ができる生存期間のこと）」**と定義し提唱している。長寿で元気でいる期間が長ければ長いほど、介護者を必要とせずに、心身とも健康でいられることからも厚労省では“スマート・ライフ・プロジェクト”を推進し、生活習慣病を少なくするための運動、食事、禁煙を勧めている。

6.2.3.　産業競争力と付加価値

（１）ロボット技術の多様な展開に向けて

我が国のロボット産業は、国内外の研究成果を踏まえ1980年代より急速に拡大し、産業用ロボットとして、自動車産業や電機機器産業をはじめとする生産工場の製造ラインのオートメーション化の一役を担うために多く導入され、現在では6,000億円規模の産業に成長した。そこでのロボットは、単純繰返し作業を目的とした単機能の性能向上が追求され、日本のロボット企業は、位置決めの正確性や、繰り返し作業の高速性に優れたハイエンドモデルを提供してきた。つまり、従来の産業用ロボットのビジネス構造は、単機能、かつ、特定市場向けの導入を対象とした仕組みであった。

新市場創出にあたって、ロボット技術は、ロングテール市場を対象とするビジネス構造への対応が必要とされている。2010年に経済産業省とNEDOにより公表されたロボット産業の2035年市場予測をグラフ化し、（図6-17）に示す（市場予測数値の詳細については、2章を参照のこと）。2035年に9.7兆円市場のニーズが予測されているが、適用分野のロングテール化は一目瞭然である。逆にいえば、多様化する付加価値の中で収益をあげるためのビジネスモデルを構築しなければ、9.7兆円市場へ到達することは不可能である。我が国のロボット産業は、ロングテール市場を対象とした、新たな仕組みづくりが求められている。

図6-17　ロボット産業の2035年市場予測

（出典：NEDO公表データをもとに作成）

（2）ロボット産業のビジネスモデル変革の必要性

限られた顧客層と特定の機能アプリケーションが支配する市場では、単機能のハイエンド型の製品が支配的な地位につくことがある。例えば、コンピュータ産業では、1970年から80年代にかけてのメインフレームが例にあげられる。その頃、ハイエンドなメインフレーム・コンピュータが、コンピュータ市場を支配していた。また、メインフレームにとってのソフトウェアは、ハードウェアを中心とする各製品の一部にすぎなかった。

しかし、80年代以降、コンピュータ産業の構造は大きく変革する。コンピュータの低価格化と小型化にともない、パーソナル・コンピュータ（以下、PC）用の大規模なソフトウェア市場が現れる。PC時代の到来では、それまでに考えられないほどの多様な顧客と、幅広いアプリケーションが必要となった。つまり、市場がロングテール化した。この時、多様性に適合するための個々のアプリケーション開発の、基盤となるソフトウェアをPCへ適用することで、大成功をおさめたのが、PC用OS（オペレーティングシステム）のWindowsである。Windowsは、PCのハードウェアが低価格競争の最中にある今日においても、OSとして、PC市場のプラットフォームリーダーの地位を獲得している。

逆に、ビジネスモデルがアプリケーション開発に集中し、プラットフォーム戦略が希薄になったことにより、国内のソフトウェア産業が、海外勢に席巻された例として、ワープロソフト「一太郎」があげられる。Windowsが普及する1995年より前では、PC用のワープロソフトでは、

「一太郎」が国内市場の大きなシェアを占めていた。しかし、Windows95と同時に発売されたワープロソフト「Word95」により、「一太郎」は大きくシェアを奪われる。その後、「一太郎」は国内においても、互換性やスケールメリットが得られにくくなり、2002年にリリースされたWindowsXPでは、「一太郎」をプリインストールで販売するPCは無くなり、今日では「Word」が、ワープロソフトのデファクト標準を保持している。これは、多様性への適合が必要となった市場で、OS層の主導者が、業界全体の主導権を握った一例といえる。

転じて、我が国のロボット産業の現状を観た場合、オープン化によるPCの出現により、メインフレームの収益性が低下した状況や、Windows OSのデファクト化により日本のPC産業が弱体化した構造に、ビジネスモデルが酷似している点は、大きな産業課題である。

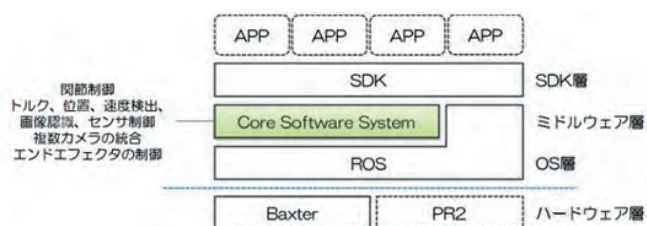
（3）研究用BaxterとROS

米国のROSでは、Rethink Robotics社製のBaxterにより、多様性への適合に相応しいROSを抽象化した上位層のフレームワークの提供がはじまっている。すなわち、ROSベースのプラットフォーム戦略が展開されつつある。

Baxterとは、2012年9月に、Rethink Robotics社より発表されたロボットである。人のそばで稼働しても安全な協働型ロボットとして、とくに中小企業を含めた製造分野への投入を目指している。これは、米国製造業において中国などにオフショアリングしていた生産拠点を、米国内での生産へ回帰する「リショアリング」の流れに連動したものといえる。Baxterは、その低価格性と、購入後に箱から出してすぐに使える製造業用アプリケーションとしての「教示（Teaching）」の容易性で、大きな話題となり、2章にもすでにとりあげられている。本章では、とくにソフトウェアとしてROSを実行環境としている点に着目したい。

2013年4月には、研究用Baxter（baxter research robot）がリリースされた。研究用Baxterでは、製造業用のアプリケーションはインストールされておらず、ソフトウェア開発キット（SDK：Software Development Kit）が用意されている。また、ROSベースの実行環境を持ち、プロプリエタリな手法が施されたCore Software System層、オープンなSDK層によって構成されているため、ハードウェア筐体としてのBaxterの上で、SDKを利用した多様なアプリケーション開発を促進することができる（図6-18）。この研究用Baxterは、現時点では、米国と欧州圏にて販売されているが、22,000米ドルという低価格のため、入手可能な研究機関も増していくと考えられる。よって、ROSの膨大なロボットアプリケーション群の開発を牽引したPR2ベータプログラム（6.3.2章（1-C）へ後述）と同様に、ROS利用者の拡大の効果が期待できる。Baxterは、製造分野を対象とした次

図6-18　研究用Baxterのソフトウェア構造

第6章

世代産業用ロボットを提供すると同時に、研究者を対象としたソフトウェア・アプリケーション開発のためのプラットフォームを提供することにより、これまで育成されたROSユーザへ適応する戦略を展開している。なわち、Baxterは、ROSを、SDK層とミドルウェア層が支配的なロボット用ソフトウェアプラットフォームとして成長させる可能性を十分にもつ。

（4）我が国の進むべき方向性

ビジネスの観点から考察した場合、今、ロボット産業には、産業構造のパラダイムシフトが、押し寄せようとしている。これが、我が国のロボット産業のコスト構造に、どのような影響を及ぼすかを（図6-19）に示す。

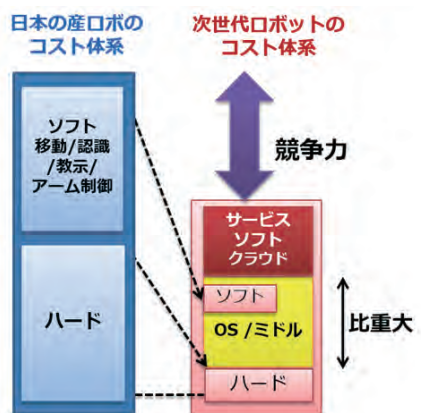
ROSのプラットフォームの展開は、これまでのソフトウェアの大幅な低価格化をもたらす。さらに、ロボットハードウェアの低価格化と、ベンチャー企業によるビジネス化の進行もともない、ロボット産業の大きなコスト構造の変化が予想される。

この場合の付加価値は、ロボットのサービスやアプリケーション、クラウドサービス、クラウドアプリケーションとなる。一方、先の（2）項でコンピュータ産業の例に示したとおり、上位サービスを統合するプラットフォーム、すなわち、OS層やミドルウェア層、サービス開発フレームワーク層の主導者に、利益が集中することは容易に想像できる。我が国のロボット産業が海外勢に伍していくためには、ロボットの基盤ソフトウェアにあわせて、付加価値層となるコンテンツ（サービス、アプリケーション）開発をも戦略に含めた、統合プラットフォームへの取組みが不可欠である。プラットフォームの形成と、複数のロボットプラットフォームを維持するための戦略と取組みが必要である。

技術開発の観点から考察した場合、ROSの潮流に於いては、アプリケーション開発において、共通に利用する一つのハードウェアが用意されている。そこに、ソフトウェア基盤としてのOS層や上位層（SDK層など）を合わせて提供し、多くの研究者や技術者の参加することにより、アプリケーション開発を促進している。つまり、我が国では、価格競争力のあるアプリケーション開発を行うための共通ハードウェアが必要であることがわかる。一つの共通ハードウェアを準備し、共通ハードウェアを広く流通させ、多様な開発ユーザへ展開することにより、膨大なアプリケーション群が形成される仕掛けが必要である。

この膨大なアプリケーション群が形成された後には、これらを別のハードウェアへ適用する動きが活発化する。この時、一つの共通ハードウェアで見出された機能やシステム構造に、他にハードウェアにも適用されるべき、システムの核となる互換性のある機能やシステム構造、標準的なユーザ機能が見出される。これは、サービス分野ごとに確立されると考えられるが、これを統合基盤として確立しようとする者が、プラットフォームリーダーとして市場でも主導権を握る。つまり、我が国には、共通のソフトウェア上位層（サービス統合基盤）も必要となる。RTM/RTCにおいても、多数のソフトウェア部品群が用意されているが、様々なハードウェアに適用されるべき、システムの核となる互換性のある機能やシステム構造、標準的なユーザ機能を集約し、これをソフトウェア統合基盤として提供する必要がある。

さらに、この時、インターネットを利用した統合プラットフォーム形成を考慮する必要がある。ROSでは、クラウド環境への適用をはじめ、インターネットを活用したロボットサービス提供、リソースへのアクセスが顕著である。インターネットの視点では、Web of Things、クラウドベースのCyber-Physical systems（CPS）などに注目も集まっている。これらは、普及期においてロボット技術をビジネスへ適用するために現れた動向の一つであり、この領域に対してロボット技術を適用し、クラウドを活用したロボットサービスを構築することが必要となる。よって、我が国において確立しようとするプラットフォームの周辺で、業界全体を巻き込むようなイノベーションを起こすためには、民間企業の団体で進めているRSi（ロボットサービスイニシアチブ）の活動と連携するなど、インターネットを利用した統合プラットフォーム戦略の展開が必須である。

図6-19　ロボット産業のコストの変化と競争力

参考文献

［1］　経済産業省：“2012年 ロボット産業の市場動向”，2013年7月．
［2］　rethink roboticsプレスリリース：2013年4月25日．
［3］　成田雅彦ほか「ロボット技術のオープンイノベーション（その2）Robot-OS（ROS）のグローバル戦略と日本のロボットソフトウェア基盤開発の方向性」（2013年）、東京大学知的資産経営研究講座ディスカッションペーパーNo.28.

6.3. “あるべき姿”を実現するためのプロセス（制度設計と整備、バックキャスト）

6.3.1. バックキャスト

高齢社会のあるべき姿として、

「様々な経験を有する異なる年齢、性別の人間が、お互いに持続的に信頼を持って係わり合い（つながり）を構築することで、個としての心理的な安心が得られる社会」

の実現を想定し、そのプロセスに言及する。

本来は、国や自治体の20－30年先の街づくりのため、高齢社会に対する国や地方自治体による街づくりのグランドデザインであり、そこからのバックキャストによる施策が重要と考える。

ここでは、海外オーストラリアと、デンマークのバックキャスト施策事例を紹介し、まだグ

ランドデザインが出来てはいないがロボットの街としての茨城県つくば市の取組と、不動産会社である山万が長期的なグランドデザインを描きながら構築したユーカリが丘、及び気仙沼と函館を事例として紹介したい。

A）オーストラリアのバックキャスト事例

オーストラリアでは、介護者が被介護者を抱えてはいけない、いわゆる“ノーリフトポリシー”が規定されている。この背景には、“ヒトはモノと同じように扱うべきではない”という理念があるようである。その結果、介護者の腰痛離職率は劇的に低下し、リフター機器の普及率が90％を超えているのが現状である。このように社会が何らかの介護者を抱える機器を求めているところに、ロボットのような機器が利活用される可能性（必然性）が見いだされるのかもしれない。

B）デンマークのバックキャスト事例

欧米デンマークは、日本に次ぐ勢いで高齢化が進んでいる。しかしながら日本のようにロボット技術がないことを認めたうえで、日本のロボット技術の輸入が国家の命題として進められている。デンマークの生活支援ロボットの活用に積極的な高福祉国家ということである。

このデンマークのグランドデザインはLabor Saving Technology政策と呼ばれ、三原則（生涯現役志向、自己決定権の尊重、残存能力の活用）から成り立っている。したがって、デンマーク国民の多くは、

（1）たとえロボットの力を借りても現役時代を永続したい

（2）介護に頼らない健康で自立した生活を送り続けたい

というものであり、待ったなしのロボットによる福祉・介護ソリューションとして、ロボット研究者/企業誘致をするというバックキャストがなされている。

C）つくばロボット特区の事例

茨城県つくば市では、生活支援ロボット安全検証センターにおいてロボットの安全性の評価を世界に先駆けて行い（後述）、同時にモビリティ特区として本来、道路交通法で日本では公道走行が違法とされる搭乗型ロボットの実証特区として、セグウェイや、トヨタのWingletなどの実証を重ねている。さらにこのモビリティ特区を入れ子にした状態で、茨城県・つくば市・筑波大学が「つくば国際戦略総合特区」を立ち上げ、サイバーダイン社のHALなどの実証を行いやすくしようという試みがなされている。

ここで重要となるのは、

（1）安全性評価：実証をするために最低限の安全性の評価

（2）実証評価：事業化するための性能評価と倫理審査

（3）街づくりのグランドデザイン：**ロボットの事業化ではない**

主に（1）は「NEDO生活支援ロボット実用化プロジェクト」でH21－25年の5年間プロジ

第6章

ェクトで進められ、サイバーダイン「ロボットスーツHAL福祉用」に対して、国際安全規格「ISO/DIS 13482」に基づく認証が行われた。

次に（1）と（2）については、「ロボット介護機器開発・導入促進実証事業」としてH25－H29年の5年間で開始している。

しかし残念ながら、現段階で茨城県もつくば市も、ロボット技術で20－30年後の街のグランドデザインは描かれていない。早急な議論が必要であろう。

～次世代ロボットは公道を走行できるか？～

セグウェイやGoogle carなど、車両型の次世代ロボットが実用段階を迎えている。アシモなど歩行型次世代ロボットが屋外を闊歩する日も近いかもしれない。では、日本の法律に照らした場合、これらのロボットは、公道を通行できるだろうか。

まず問題となるのは道路運送車両法と道路交通法だ。

道路運送車両法が定義する車両は、原動機を動力として陸上を移動する用具であれば「自動車」または「原動機付自転車」に該当し、車輪によって移動する必要はないから、歩行型ロボットであっても、車両に該当する。また、「自動車」と「原動機付自転車」の区別は道路運送車両法施行規則に規定されていて、定格出力1kW以下のセグウェイは「原動機付自転車」に該当する。排気量や出力がいくら小さくても、原動機付自転車には該当するのが原則なので、制動装置や前照灯など、国土交通省令で定める基準を満たさなければ、公道を走行できない。前照灯や方向指示器などは装備できるとしても、体重移動による制動は、現行法上の「制動装置」とは認められないだろう。セグウェイが日本の公道を走行できるためには、電動車椅子（いわゆるシニアカー）のように、例外規定を設けるほかないと思われる。

これに対してGoogle carは、市販の自動車に自動運転装置を取り付けたもののようなので、道路運送車両法の定める「自動車」に該当すると考えられる。しかし、道路交通法は人間を名宛人にしているので、人間が運転しない自動車が公道を走行することは想定していない、と考えるほかはない。結局のところ、google carは、道路交通法を改正しない限り、日本の公道を走行できないことになる。

また、道路交通法を改正するとしても、事故の場合の負傷者救護義務や緊急車両への対応など、手当てすべき条項は多い。さらに、民事上の責任など、検討すべき法的論点は極めて多い。

小林 正啓（花水木法律事務所 弁護士）

D）山万ユーカリが丘の事例

ここでは、前に示した街ぐるみのサービスとして、街というモノだけではなく、住まう人のコトづくりサービスをグランドデザインとした、山万ユーカリが丘の事例を紹介したい。

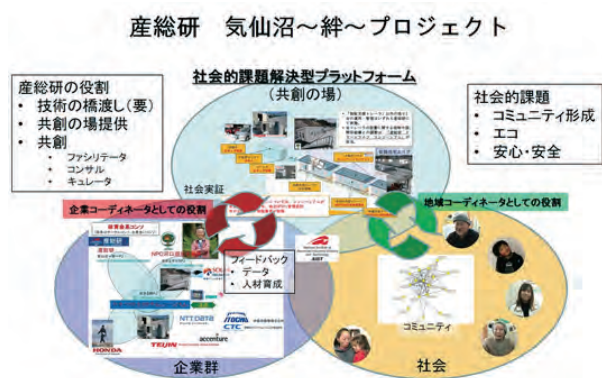
山万株式会社は、1951年（昭和26年）2月、繊維卸売業として大阪で創業した。1964年（昭和39年）9月に本社を東京に移転、昭和40年代から宅地開発事業に進出し、神奈川県横須賀市で大規模住宅団地「湘南ハイランド」を1968年（昭和43年）1月から販売開始、そのノウハウを引き継いで1971年（昭和46年）に千葉県佐倉市でユーカリが丘開発に着手。1979年（昭和54年）のユーカリが丘分譲開始以降、1982年（昭和57年）には、新交通システム「山万ユーカリが丘線」の開業、1988年（昭和63年）、千葉県下初の超高層マンションの着工へと続き、平成に入ってからもホテル、シネマコンプレックスや、それらの商業施設を結ぶペデストリアンデッキ等の駅前整備を進め、さらに福祉施設や認可保育園、セキュリティ事業を関連会社で運営するなど、宅地開発・分譲のみならず街に関わる事業すべて携わり、「街づくり企業」として現在もユーカリが丘開発を続けている。近年では、電気バスの開発やHEMS（ホームエネルギーマネジメントシステム）等の導入を行っている。

ユーカリが丘の街づくりは、従来の街づくりの建売の仕方とは大きく異なり、年間販売戸数を制限し、敢えて空地を作りながら家を造成していった。そのことにより、将来、家を一度出た家族が、近くに家を建て **“近居”** を容易にしている。また、家族のライフスタイルで、子供たちが家を出て、高齢者のみになった場合には、戸建てを買い取り、マンションなどへの移住を容易にするシステムや、買い取った戸建てをリフォームし新しい若い世代に安価に販売している。そうすることで、**世代を超えた街の継続的な持続を可能とすることで、住みやすい街、戻って来たい街**となっている。

E）気仙沼の事例

産総研で進められている「気仙沼～絆～プロジェクト」（図6-20）では、現場に入り込みながら、現場の問題を住民とともに洗い出し、問題解決手法の検討を進める中で、ロボット技術やIT技術が使えるかどうかの現地型実証実験が行われている。

そこで得られた知見を活かしながら、将来の街づくりの方向性について、「気仙沼市機能的住みよさ創造会議」に参加をしながら議論を重ねている。その中で、気仙沼市という地域の特性から、考慮

図6-20　気仙沼～絆～プロジェクト

しなければいけないのは以下の二点であると考える。

- 高齢者化は避けられない
- 水産業が主

このような状況の中で街づくりを考えた場合、30－40年先を考えた街づくりとしての復興を考える必要があり、夕張市で直面しているように、数名の部落のため上下水道などのインフラを維持することは、地方自治体の財政をひっ迫させることになりかねない。

逆に考えるならば、**高齢者が元気で（生涯現役）、働けるうちは働く（残存機能活用）**を、個人レベルで自覚しながら、少なくとも年間多少のお金を稼ぎ、社会参加を実現できる街づくりを心掛けることが非常に重要である。

同時に、水産業を含む一次産業全体にいえることは、ロボット化のための業務分析が十分されているとは言いがたい。高齢者化に対応可能な一次産業のあり方を模索すると、ロボットの活路が見いだせる領域もあるのではないではないか。ここで注意することは、労働力としてのロボット（人員カット）ではなく、逆に働く人の年収を上げるための手段としてのロボットの活用方法を考えるべきであるということと、漁獲が2倍になった時に単価が暴落しないようにするための社会的な仕組みづくりと同時に行わないと、収量を増やすことに経費を費やしてロボット化を行うモチベーションにはならない（図6-21）。

図6-21　高齢者化に対応可能な一次産業のあり方

F）函館の事例　オンデマンドバスの社会導入

オンデマンド型公共交通の導入も、ロボットサービスの展開と同じく、社会導入の壁が存在している。

オンデマンド型公共交通システムは、地域活性化に結びつく地域の足として期待されつつも、主要交通手段としての導入はなかなか進んでいない。人口減少・超高齢社会が到来している日本では、地域の公共交通の再設計が喫緊の課題である。一旦、車社会に舵を切ってしまった日本の地方都市では、車による移動が生活に必須のものとなり、運転の出来ないあるいはしたくない人にとっては非常に不便な社会になっている。高齢化により、そのような交通弱者の割合は今後増えていく。これを解消する方策の一つが、自家用車やタクシーのドアツードアの利便性と、バスなど公共交通の経済性を兼ね備えたオンデマンド型公共交通である。

オンデマンド型公共交通を実現するための技術的基盤はかなり整ってきている。スマートフ

ォンなど高機能携帯端末やGPSなどの地理情報システムの普及により、利用者の要求（デマンド）をリアルタイムで集約したり、バスの運転者に指示を出したりする仕組みの構築には、大きな技術的障害はない。スマートフォンが使いづらい人向けにも、今後、便利なデバイスがいろいろと生み出されていくことも期待できる。

さらに、オンデマンド型公共交通の大規模導入で、利用者にとっての利便性や運用者にとっての採算性が向上することもわかっている[1]。（図6-22）は、オンデマンド型公共交通の利便性が、従来型の固定路線バスに比べてどのようになるかをシミュレーションにより調べた結果である。この図では、横軸が営業規模（運行バス台数）を、縦軸が利用者の平均旅行時間を示している。つまり、グラフでは下になるほど利便性が高い（速く目的地到着できる）ことになる。示されているグラフの内、太い赤線が路線バスの利便性変化であり、何本かある細い曲線がオンデマンド型のバスの利便性である（オンデマンド型では設定が複数あるため、複数本グラフが描かれている）。このグラフからわかるように、いずれのバスでも、バス台数が増えれば、きめ細やかなサービスが可能になるので利便性が向上するが、その向上の度合いが固定路線とオンデマンド型では異なり、オンデマンドバスの方がより大きく向上する。つまり、オンデマンド型の公共交通は、大規模に導入すればするほど、利便性が向上する可能性がある。

しかし、実際の導入となると、困難が待っている。導入にあたって、（図6-22）の右側半分（オンデマンド型が有利）の規模で一気にサービスを展開できれば、利用者・運用者ともに満足することができる。しかし、事業転換のリスクや利用者の慣れを考えると、どうしても小規模な導入から徐々に展開していくという方策になりがちである。その場合、オンデマンド型のシステムの長所が出る前に、その欠点が現れてしまう。（図6-23）はその様子を示したものである。この図は、バスの営業規模を固定して、利用者の数を増やしていった場合の平均旅行時間の変化を示している。この場合、路線バスは利用者にかかわらず定時で運行するので利便性に変化はないが、オンデマンドバスでは他の利用者のための回り道が多くなり、旅行時間が伸びてしまう。このため、利用者が少ない場合は路線バスより便利であるが、利用者が増えるに従い、もとの路線バスより不便になる。この傾向は、バス台数が少ないほど顕著であり、試験的な小規模導入では高評価を得にくい。

また、利便性・採算性向上に必要な導入規模などを評価するためのデータが足りないことも、大規模導入を妨げる原因となっている。前述のグラフは、仮想的な街と利用者を仮定し、理想的な状況で運行した場合の計算機シミュレーションの結果であり、実際の状況とは異なる部分も

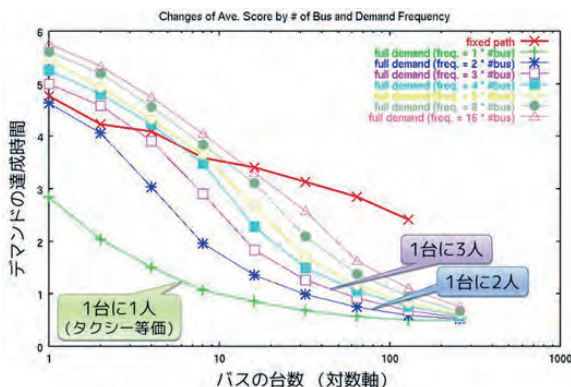
図6-22　オンデマンドバスと固定路線バスの利便性比較（採算性固定）

あり得る上、オンデマンド型が固定路線の利便性を上回る規模を求めるためには、実データを元に再度シミュレーションする必要がある。モバイル機器の普及などにより、このような街の状態を表したビッグデータの取得は徐々に可能になりつつも、シミュレーションを精密に組み立てるには現状ではまだ十分とは言えない。さらに、交通需要といったものは、既存の交通システムに依存して決まるものであり、新たなシステムの導入による変化はデータからはなかなか捉えることが出来ない。導入後の交通需要を知るためには、まず導入してみないとわからない、という鶏と卵の状態からいかに抜け出すかが、新システムの導入の鍵となる。

図6-23　オンデマンドバスと固定路線バスの利便性比較（バス台数固定）

この鶏と卵を抜け出す試みも始まっている。はこだて未来大学・産総研・名工大は地元の業者と協力して、函館の市街区においてオンデマンド型の交通システム（スマートアクセスビークル〈SAVS〉）の導入を進めつつある[2]。ここでは、事前に手に入るデータを活用して交通需要の推定やシミュレーション評価をしつつ、その経時的な変化も含めて新システムの導入・展開の方策を探る試みである。また、ここ以外においても、東京大学のオンデマンド交通プロジェクト「コンビニクル」（http://www.nakl.t.u-tokyo.ac.jp/odt/）のように、導入のコストや事前評価を簡易に行うサービスを展開する形で普及を促進する取り組みが進められている。

参考文献

[1]　野田五十樹，篠田孝祐，太田正幸，中島秀之：“シミュレーションによるデマンドバス利便性の評価”，情報処理学会論文誌，Vol.49, No.1, pp.242-252, 2008年1月.

[2]　小柴等，野田五十樹，山下倫央，中島秀之：“実環境を考慮したバスシミュレータSAVSQUIDによる実運用に向けたデマンドバスの評価”，JAWS 2013, 2013 9月.

第6章

（1）街づくりのバックキャスト・プロセスと地域コーディネータの重要性

ここまで述べてきたように、街づくりのグランドデザインを作り、街の中でコミュニティを作り出す活動が、最近、見直され始めている。NHK「東北初☆未来塾」にも出演している山崎亮は、様々な街づくりに関わりながら、自らをコミュニティデザイナーと称し、人のつながる仕組みづくりに実際に関わりながら、様々な地方からの依頼を受けて活動をしている。

地域に入り込みながら、地域の問題点を地元の人と模索し、さらには解決策も考え出していく活動は、地方自治体や地元の人々だけでは困難で、外部の人が入り込むことで現地の問題を洗い出す活性剤となると考えられる。

現在、3.11東日本大震災の被災地の各都市では、街の復興がいろいろと模索されているが、それぞれの街の持つ環境因子がそれぞれ異なることから、それぞれの背景をよく見極めながら、街づくりの議論を行う必要があると思われる。被災地の多くは高齢社会の最前線であり、同時に放っておけば若者は都会に出て戻らず、就労人口は減少、さらに出生数も減少し、高齢者化に拍車がかかっているのが現状である。この現実に目を背けずに、

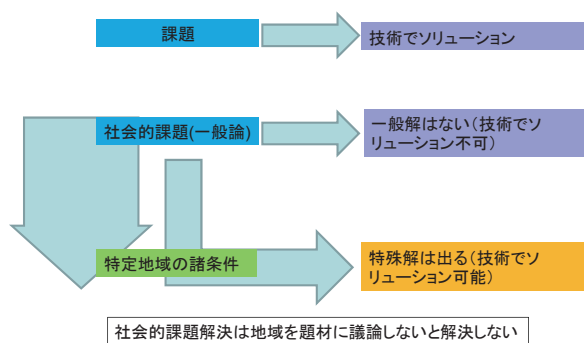
1）高齢者は可能な限り働き・社会参加し、前述の“ピンピンコロリ”を実現することで自治体の負担を可能な限り下げると同時に、本人と家族が人間らしい生活を送る。

2）一度、都会に出た若者を、Uターンしやすいように、人的なネットワークを構築しながら、戻りたくなるような雇用創出育成事業を立ち上げる必要がある。そのためには子供の育てやすい環境であるとか、夫婦で戻りやすくするための情報提供などが重要と思われる。

この様な“高齢者化の進む街づくりモデル”は、先に述べたように、街の特性に合わせる必要があることから、すべての街に当てはまるテンプレートは難しいと思われるが、そのノウハウは、高齢社会のフロントランナーである日本のノウハウとして、後述のプロセスの国際競争力となりうると考える。

このような中で、ロボット技術が、新しい街づくりにどの程度、生かされるかを考えないと、将来の街の中で人とロボットが共生する街（ロボットが共生する必然性のある街）は出来ないのではないか、と危惧する。

同時に、社会的課題解決として“街づくり”を対象とすると、よく言われるのは、「研究論文になりにくい」ということがささやかれる。先の気仙沼の事例において、**「一次産業、二次産業、三次産業において、最近求められている技術的な需要は、一般解としての技術ではなく、特殊解として社会実装する技術ではないか」**、と最近考えている。特に社会的課題を対象とした場合、あまりにも問題が大きいため、その一般解を技術的に求めることは難しく、特定地域における諸条件を当てはめることで、特殊解を求めていく作業が非常に重要なのではないか（図6-24）。

図6-24　社会的課題解決の題材

（2）制度設計と整備の必要性

上記のデンマークや、山万ユーカリが丘の例を見てみると、国や地方自治体がどれだけ国民

一人一人の幸せを考えグランドデザインを設定し、それを遂行するか、が大事で、敢えて社会システムや法整備として整備しなければいけないものが現時点であるか、といわれると非常に疑問である。

特に、国や地方自治体が行いがちな、道路整備などのインフラ整備は、今後の高齢社会になる街を考えた場合、将来を担う高齢者に比べて少ない若者たちへの負の遺産となりかねないものではないか、と考える。

モノ主導のまちづくりではなく、高齢者が少なからず働けるようにすること、大学や就職を機に街を出た若者が、Uターンしたくなるような街のグランドデザインを描き、そのために必要となる解決手段の一つに、ロボットが選ばれることを期待する。

A）次世代ロボットの社会実装を直接阻害する法律の改正

自律走行ロボット自動車は現行道路交通法上、公道走行ができない。

遠隔診断・医療ロボットは現行医師法に違反する。

わが国では2003年（平成15年）、公道を走行したセグウェイが摘発され、輸入代理店経営者が略式起訴され罰金を科せられた事例がある。

このように、次世代ロボットはしばしば現行法の想定外となるため、次世代ロボットの社会的有用性が認められ社会実装されるときには、速やかな法改正が必要となる。これを怠るとわが国のロボット産業は発展しないし国際競争力を失うことになろう。

B）次世代ロボットの物理安全に対する社会的信頼の獲得

次世代ロボットが社会実装されるためには、まず安全であること、安全に対する社会的信頼が獲得されることが必要である。ここに「安全」とは絶対安全ではなく、リスクを上回るベネフィットがあること、換言すれば、リスクが社会的に許容されることを意味する。

安全に対する社会的信頼を獲得する制度として、安全認証制度は一つの有力な選択肢と考えられる。わが国として安全認証制度を発足させることは、基準の標準化を通じ、日本の次世代ロボットの国際競争力を高めるためにも有用である。

注意すべきことは、安全認証を受けたからといって、事故が起きた際、法的に免責されるとは限らないことである。安全に対する社会的信頼を制度的に確保する制度と、事故が起きたときの被害救済（損失の公平な分担）は別問題だからである。制度論としては、安全認証と保険を連動させ、安全認証を受けた次世代ロボットによる事故の損害は保険によって補填される仕組みが必要となろう。

C）次世代ロボットの情報安全に対する社会的信頼の獲得

次世代ロボットの多くはクラウドやユビキタス・ネットワークに接続して大量の個人情報やプライバシー情報をやりとりするから、次世代ロボットが社会実装されるには、情報安全に対する社会的信頼の獲得が必要である。

Suicaカードのビッグデータ販売中止騒動は、日本人が、情報安全に対し漠然とした不安を持っていることの象徴である。情報安全を守る仕組みを整備しなければ、同様の問題が将来も発生し、次世代ロボットの社会実装に対する阻害要因であり続けるだろう。

わが国のプライバシー保護法制の整備状況は欧米に比べ20年以上遅れている。内閣は2013年12月、「パーソナルデータの利活用に関する制度見直し方針」を決定し、個人情報保護法の改正に向けた方針を明らかにするとともに、欧州に倣った第三者機関（プライバシー・コミッショナー）の設置に向け動き出した。高度情報化社会におけるプライバシー権の擁護と利活用のバランスをどう図っていくのか、注目される。

D）事前規制から事後救済へ

わが国では、事前規制や法律によらない行政指導が経済活動の活性化を妨げている側面があり、ロボットのような新興産業分野においてはその悪影響が顕著である。最大の問題は、日本人には事前規制社会が骨の髄まで染みこんでいて、規制がないと何もできない、という倒錯した精神構造を持つに至っていることである。

たとえていえば、欧米人は、規制が存在しないことを「自由」と理解し、アイデアを形にする。そこで文句を言う人が出てくれば、裁判所で白黒をつける。紛争は多いが、自由でダイナミックな社会である。

これに対して日本人は、規制が存在しないことを「禁止」と理解する。新規産業分野には当然規制がないが、日本人は「禁止」と理解しているから、何もしない。そのうちに欧米人が形にしたアイデアが日本を席巻することになる（典型例はgoogle street view）。そこで日本人は、役所に行って「規制してくれ」と陳情する。規制ができて初めて、その規制の枠内で競争を始める。国際競争においてどちらが勝つかは自明である。

E）RoboLawプロジェクト

EUでは、2012年3月、イタリアの聖アンナ大学のエリカ・パルメリーニ教授らを中心とする「RoboLaw Project」を発足させた。これは、次世代ロボットが社会実装される際、生起されるであろう様々な法的・倫理的問題を、欧州を中心とする世界中のロボット工学者、法学者、哲学者の意見を参照しながら、検討するプロジェクトである。たとえば、関節炎に悩む老人が、優秀な義足に履き替えるため足を切断することは法的倫理的に許されるのか？重度障害者がBMI（Brain-Machine Interface）を通じて表明した「意思」（例えば投票行動など）は、その人の意思とみなして良いのか？高度な判断能力と自律性を備えたロボットがした「判断ミス」について、誰がどのような責任を負うのか？といった問題である。

わが国から、このプロジェクトに参加しているのは極めて少数である。また、わが国内において、同様の研究を行う試みはなく、まして、わが国を中心とした国際的取組を行う機運も全く存在しない。

次世代ロボットを国内で社会実装する場合はもちろん、国際的に普及させるためにも、この

種の事例研究を事前に重ねておくことはきわめて有益と考える。

参考文献

[1]　民間企業（山万）が地域を経営する街～ユーカリが丘 調査報告書～，http://www.minnano-yokohama.com/wp-content/uploads/2013/01/20121029ooiwareport.pdf
[2]　山崎亮，「まちの幸福論」，NHK出版., 2012.
[3]　山崎亮，「コミュニティデザイン」，学芸出版社., 2011.

第6章

～RoboLawプロジェクトについて～

RoboLawは、イタリア聖アンナ大学のエリカ・パルメリーニ教授らを中心に、2012年3月に設置されたプロジェクトであり、予算として約1900万ユーロが投じられ、次世代ロボット技術のもたらす法的・倫理的問題について検討を行っている。

それは例えば、ロボット義手や義足は、法的に見て人間の身体の一部なのか、という問題である。そうであるなら、他人の義手を破壊することは器物損壊罪ではなく、傷害罪となるのだろうか。あるいは、両手に義手を装着したドライバーが事故を起こしたとする。ドライバーは、義手に欠陥があったと主張して、法的責任を免れることができるだろうか。

老人や障がい者が、不自由な脚を切り落として義足に替えることは、法的倫理的に問題となるのだろうか。兵士やロッククライマーが、健康な手足を切り落として電子義手や義足を装着することはどうか。ロボット技術の発展は、義手や義足の定義を、補助具から身体機能の増幅装置に変えるだろう。そうなったとき、これを規制する法制度は必要ないのだろうか。

同様のことは、Brain-Machine-Interface（以下BMI）についてもいえる。もし、全身麻痺患者のBMIによるコミュニケーションが、支障なく社会生活を営めるほど可能になった場合には、後見は不要とみなして良いのだろうか。手足をロボットに置換することが許されるなら、脳の機能をコンピュータに置換することも同様ではないだろうか。だが、その機器が表示する「意思」は、本当に本人の意思であると、どうやったら認定できるのだろうか。

RoboLawプロジェクトは、2014年の報告書公表を目的として、研究会などを重ねている。もとより、発展途上の技術がもたらす法的・倫理的問題を正確に予測することは不可能であろう。だが、重要なのは数十年後を見越して英知を結集することそれ自体である。わが国も、ロボット先進国を目指すのであれば、このような取組に積極的に参加するべきではないだろうか。

小林 正啓（花水木法律事務所 弁護士）

6.3.2.　ロボット技術の普及体制

イノベーションプロセスにおいては、技術的な研究活動をビジネス活動へ結合し、技術と市場の相互作用を誘発する体制と、普及を促進するための仕掛けづくりが必要となる。欧米では、ロボットプラットフォームへの組織的な取組みが活発化している。

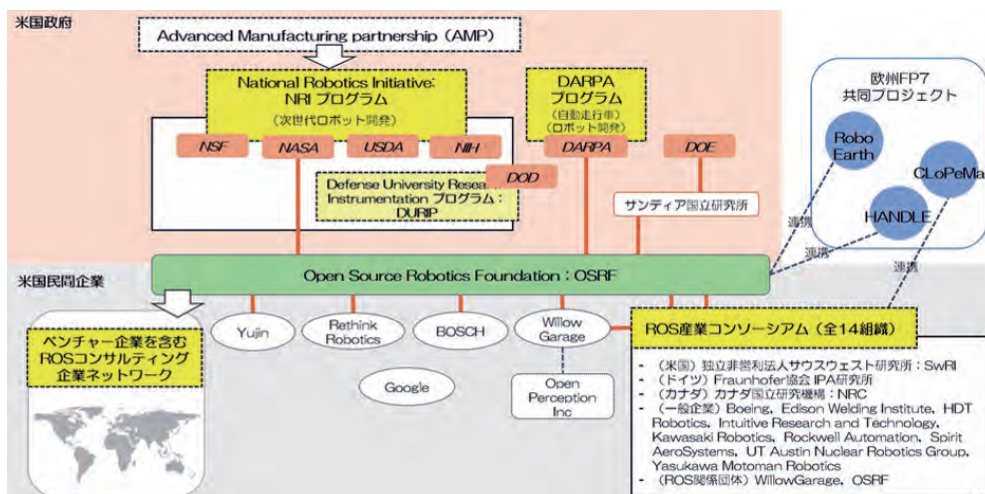
我が国のRTミドルウェアでも、ビジネス展開を視野にいれて応用研究や事業化に取り組む民間企業へのパス形成、ひいては、民間企業を含めた会員組織、仕様策定プロセスの確立、企（起）業家やユーザが安心してRTミドルウェアを利用するためのサポートなど、オープンな組織設計が、今後のビジネス展開のためには不可欠であるため、本章では、米国、欧州の動向をまじえながら、ロボット技術の普及体制について述べる。

（1）OSRFの組織体制

ロボット技術の普及について、オープンソースロボティクス財団（Open Source Robotics Foundation:OSRF）を中心に、組織体制と普及の観点から、米国の動向を概観する。OSRFとは、ROSプロジェクトを主導する米国のオープンソースロボット団体である。ROSは、ロボットオペレーティングシステム（Robot Operating System）の略であり、ロボット用のオペレーティングシステム（以下、OS）として、ライブラリやアプリケーション開発のためのツールをBSDライセンスのオープンソースのロボットソフトウェアとして提供する。あわせて、GAZEBOというROS開発環境をサポートするシミュレーターを提供する。ROSは、2006年に、米国シリコンバレーに設立されたWillow Garage社に率いられてきたが、同社は2012年4月にROSをスピンアウトし、非営利法人のロボット団体OSRFが設立された。

スピンアウト後のOSRFは、産学官連携を促進し、米国の次世代ロボット開発体制を強化している。OSRFの組織間の連携を（図6-24）に示す。OSRFのスポンサーは「BOSCH」「DARPA」「NASA」「rethink robotics」「ROS Industrial Consortium」「Sandia National Laboratories」「Willow Garage」「Yujin Robot」であり、将来的に生成されるROSの関与する米国家プロジェクトの成果と、民間企業、及び一般ユーザをつなぐ、官と民の統合機関としての組織構造をもつといえる。民間企業・組織との連携としては、ROSコンサルティング企業ネットワークが形成されている。世界各地のベンチャー企業やROSに参加する団体を、ROSグローバルコンサルティングネットワークとして組織化し、ROSのサポート窓口として体系化している。つまり、ベンチャー企業等が、ROS普及とビジネス化を視野にいれた活動を担っている。さらに、「ROS産業コンソーシアム」が発足するなど、OSRF以外にも、ROSをサポートするバックアップ団体やユーザ組織が存在し得る仕組みを形成しつつあることがうかがえる。

ROSでは、大学・研究機関の研究者を中心としたコミュニティによる活動と、民間企業を巻き込んだビジネス領域を目指した活動があり、「産」と「学」の双方の開発ユーザを取り込むための、様々な仕掛けが展開されている。さらには、米国の次世代ロボット施策の一環であるNational Robotics Initiative（NRI）からの支援を発表するなど、「官」との連携による研究開発も推進されている。以下にROSの各取組みについて「産」「学」「官」の視点から述べる。

図6-25　OSRFの組織体制

A）ROSの「官」との連携

ROSの「官」との連携活動としては、DARPA（米国防高等研究計画局）プロジェクトとの連携や、欧州の研究開発プログラムFP7との連携がある。さらに、ROSでは、クラウド環境へのロボティクス適用を視野にいれた取り組みが行われている。

まず、DARPA Robotics Challengeプラグラム（以下、DRC）において、クラウドシミュレーター受託開発が行われている。DRC開催については、4章や5章にすでに記載されているため詳述は省くが、ここでは、OSRFが受託開発した、クラウド型シミュレーターに着目したい。このシミュレーターは、ROS開発環境をサポートするGAZEBOというオープンソース・シミュレーターを、クラウドコンピューティング環境へ適用することを要件として、政府調達（Government Furnished Equipment：GFE）シミュレーターとして採択された。これは、米国政府側からのトップダウンの採択である。DRCプログラム用のGAZEBOは、DARPAの要件に合わせてカスタマイズされており、DRCプログラム内のロボット検証用のテストベットに位置づけられる。このGAZEBOのクラウドコンピューティング環境への適用については、競技開始後、半年程度で既に実現されている。GFEシミュレーターは、DRCプログラム内で、リリース更新を続けるとされており、これは競技者の成果を適用した実証環境で、さらにブラッシュアップしていくということであろう。また、別途、一般ユーザ向けCloudSimがAmazonWebService（AWS）上へリリースされ、クラウドシミュレーターのWebサービス提供を開始している。

欧州連合の研究開発プログラムFP7においても、FP7-ICTの枠組みでロボット研究を着実に推進しており、Horizon2020へ引き継がれる。FP7内でROSを採用するプロジェクトがあり、ロボット向けのWorld Wide Wed構築を目指すクラウドロボティクスのプロジェクトである「RoboEarth」、ロボットハンド開発の「HANDLE」、双腕アームによる衣服や織物の知覚と操作を行う「CLoPeMa」等があげられる。

B）ROSの「産」との連携

「産」への仕掛けとしては、既存のロボット企業の参加によるROS産業コンソーシアムをとりあげる。ROS産業コンソーシアムでは、民間企業を含む14の組織が参画し、複数企業の共同でのROS応用研究体制が構築されている。ROS産業コンソーシアムは、産業用ロボットへROSを適用する取組みであり、ROS-Industrial open-source software（以下、ROS-I）による高度な産業技術を育成するためのオートメーション開発の国際ネットワーク組織とされる。ROS-Iは、産業用ロボット開発を容易にし、開発コストの大幅な削減を目指している。そのために、産業用ロボットのもつ信頼性と、オープンコミュニティの柔軟性を組み合わせ、ROSによるロボットアプリケーション開発を行い、新規事業化や、次世代ロボット市場へのROS適用が模索されている。

ROS産業コンソーシアムは、2012年2月に発表されたROS産業プロジェクトから発展し、2013年3月に正式に発足、キックオフミーティングが開催された。米国テキサス州の独立非営利研究開発機関のSouthwest Research Institute®（サウスウェスト研究所：SwRI）が中心となって推進し、カナダ国立研究所、欧州からはドイツのFraunhofer研究所生産技術・オートメーション部門（IPA）が参加する。民間企業としては、「Boeing」「Edison Welding Institute」「HDT Robotics」「Intuitive Research and Technology」「Kawasaki Robotics」「Rockwell Automation」「Spirit AeroSystems」「UT Austin Nuclear Robotics Group」「Willow Garage」「Yasukawa Motoman Robotics」が参加、また、「OSRF」も、2013年2月に、コンソーシアムへの正式参加を表明した。

ROS産業コンソーシアムでは、欧州FP7との連携活動も行われている。事例として、CLoPeMaプロジェクトがある。CLoPeMaとは、Clothes Perception and Manipulationの略であり、プロジェクト期間は2012年2月～2015年1月である。アームによる衣服や織物の知覚とマニピュレーション操作によるロボットサービスの汎用化を目指している。アームはYASUKAWA MOTOMAN製のMA1400を双腕に組み合わせ、これを操作するためにROS-Iを利用、ROSをベースとしたC++とPythonによる開発を行っている。成果はオープンソースでリリース予定である。

さらに、ROS産業コンソーシアムには、FTP（Focused Technical Projects）とよばれる制度が設けられている。これは、コンソーシアムへの参加企業により特定の研究テーマに対し研究グループを形成し、このグループで、新規研究開発における機器や人件費を分担して負担する。そして、負担したメンバーで研究成果を共有するものである。FTPで推進された研究成果は、必ずしも公開されるものではなく、FTPグループの参加メンバーの審議によりリリース時期や公開の有無が決定される。

C）ROSの「学」との連携

「学」への仕掛けとしては、研究者を中心としたコミュニティの活性化による普及活動がある。

2010年に、PR2ベータプログラムと呼ばれるプログラムが開催された。これは、米国Willow Garage社によって主催された2年間におよぶコンテスト型チャレンジプログラムである。同社は、2010年1月に、同社が開発・販売を行うPR2というロボットを利用したアプリケーション開発に興味のある研究機関の募集を行い、とくに優れた提案のあった研究機関へ無償でロボットを提供した。これには、米国、欧州、日本を中心とした11の大学機関が参加し、ROSで再利用可能なコンポーネントツールやアプリケーション開発を行った。プログラム実施中には、数にして2000以上のパッケージがリリースされている。また、オープンソースコミュニティを形成し、開発ユーザを活性化した。

ROSは、ロボットハードウェアとしてのPR2を大規模に提供することにより、ROS研究と他のロボット研究とのコラボレーションを促進し、ROSの知名度を飛躍的に高めたといえる。ROS利用機関の分布を（図6-26）に示す。

図6-26　ROSの利用機関の分布

（出典：ROS Users of the World –Google Map-https://maps.google.com/maps/ms?ie=UTF&msa=0&msid=209668390659853657363.00049c608b78bc7779683）

また、Willow Garage社は、インターンシップ制度を活用している。とくに、インターンシップ期間中に開発したサービスを、期間終了後は、学生が所属大学で研究や運用を継続しており、利用者の拡大と運用の継続のための工夫がある。

（2）ユーザの拡大と育成

近年の米国の動向として、技術者や研究開発者と、シーズ技術の実用化のための指導や助言を行う者（メンター）のマッチング制度ある。例えば、米国SRIインターナショナルが提供する5DOIプログラムは、シーズ技術を持つ研究者に対し、ビジネスプランの作成支援を行う仕組みをもち、イノベーションの量産の取組がおこなわれている。

また、ソフトウェア開発やサービス開発に伴うモデルとしては、開発者とメンターのマッチング環境を整備し、そこに、広範囲の少額投資を行う企業を組み合わせることで、ユーザの拡大や技術普及、開発者や技術者のコミュニティを活性化するモデルがよく機能している。

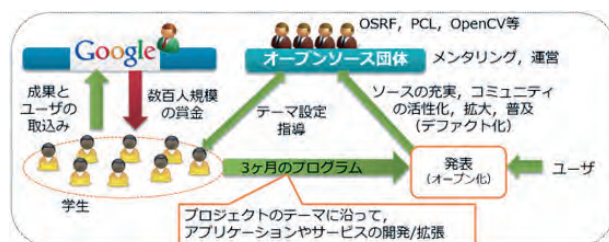
ユーザの拡大と育成、さらには、国内外の中小企業やベンチャー企業を巻き込むまでには時間がかかる。RTミドルウェアのみならずRSiを含めても、米国のオープンソースコミュニティの活性化の取組を概観した場合、日本発のオープンソースロボティクスを担うベンチャー企業群や組織体系への取組みは大きな課題であるといえる。以下に、米国におけるソフトウェアやサービス開発に伴う、ユーザの拡大と育成の仕掛けをとりあげる。

A) Google Summer of Code

2005年より開催されている、オープンソース団体と若い開発者の共創活動を促進する仕組みとして、「Google Summer of Code（以下、GSoC）」プログラムがある。GSoCは、コンピュータサイエンスの学生向けの、オープンソース団体とチャレンジ学生のマッチングの仕組みである。学生には、奨学金がGoogleより提供される。

このプログラムでは、オープンソース団体より、プロジェクト提案がGoogleに対して行われる。各団体のプロジェクト提案は公開され、この情報をもとに、学生は、オープンソース団体の指導員（メンター）と話合いながら開発の具体的なアイデアを用意し、GSoCへ応募する。選考において、両者の内容を考慮してオープンソース団体とマッチングが行われ、採用プロジェクトが決定する。プロジェクトが達成された場合、奨学金5,000米ドルを学生に提供、あわせて指導組織に学生1人につき500米ドルを提供する。GSoCプログラムは、毎年の夏の3か月間が開発期間となるが、GSoCプログラムの終了後も、団体側で継続されるプロジェクトもある。2013年では、173の組織が参加、1,000人以上の学生と、同じく1,000人以上のメンター指導員が活動した。GSoCのモデルを（図6-27）に示す。

2013年には、オープンソースロボティクス財団（OSRF）も参加しており、これまでに、OpenCVやPCLなどのロボット要素技術のオープンソース団体も参加してきた。

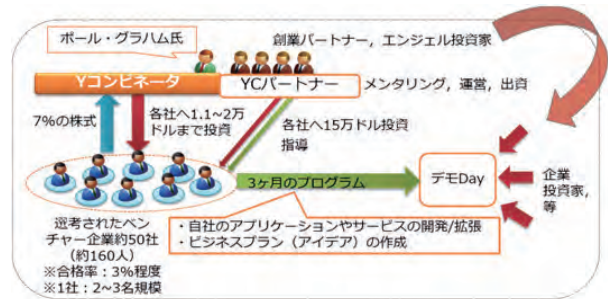
図6-27　Google Summer of Codeのモデル

B) Yコンビネーター

2005年に設立された米国シリコンバレーのベンチャーキャピタル「Yコンビネーター」は少額の出資でシーズ技術の事業化支援やベンチャー支援を行い、起業家を支援するプログラムを提供する。このプログラムの選考対象は、IT技術を中心とした2〜3名程度のスタートアップ企業である。投資が決定した企業へは、1社あたり2万米ドルまでの出資を行い、7%の株式を保有する。1回のプログラム期間は3ヶ月、50社程度を採用し、期間中に各社のアプリケーションやサービス開発及び拡張、ビジネスプランやアイデアの作成への助言やコーチングを行う。3ヶ月のプログラム終了時には、デモDayが用意され、投資家や企業に対するプレゼンテーションが行われる。なお、1社あたりへの投資額については、近年は、エンジェル投資家からの15万米ドルの追加投資の選択が、プログラム開始時点に組み込まれている。Yコンビネーターのモデルを（図6-28）に示す。

Yコンビネーターの、これまでの投資先としては、クラウドを活用した写真や文書の保存・共有のWebサービスを提供する「ドロップボックス」、プログラミング言語Rubyを使ったソ

フトウェア開発支援ツールを提供する「ヘロク」、インターネットを利用した旅行者向け貸室仲介サービスを行う「Airbnb」などがある。

このようなスタートアップ起業の少額支援モデルは、オープンソースの普及、利用技術のサポートやコミュニティの充実、Web開発環境が整備されて比較的容易で短期間な開発が可能になった等により、サービス開発のコストが低下し実現されている可能性が高い。

図6-28　Yコンビネーターのモデル

参考文献

[1]　Robotics VO, “A Roadmap for U.S. Robotics - From Internet to Robotics 2013 Edition”, 2013.

[2]　オープンソースロボティクス財団（OSRF：Open Source Robotics Foundation）. http://osrfoundation.org/

[3]　DARPA-BAA-12-39 Amendment 1（DARPA Robotics Challenge）2012年.

[4]　ROS産業コンソーシアム（ROS-I：ROS-Industrial）http://rosindustrial.org/

[5]　WillowGarage, “IROS 2011: The PR2 Workshop:Results, Challenges and Lessons Learned in Advancing Robots with a Common Platform”, 2011. http://www.willowgarage.com/workshop/2011/iros_pr2_workshop

[6]　Google Summer of Code. https://code.google.com/p/google-summer-of-code/

[7]　Randall Stross（2012）, The Launch Pad inside Y Comninator, Silicon Valley’s Most Exclusive school for Startups, Portfolio（滑川海彦、他訳（2013）『Yコンビネーター』日経BP社）.

第6章

6.4. プロセスの国際競争力（国際標準化と推進、及び安全技術と認証体制）

6.4.1. 国際標準化活動

ここまで、ものづくりとしてのロボットを街の中でサービス展開するために、街づくりのグランドデザイン、その中でロボットが活躍するべきサービスデザイン、そして最後にそこで利用されるロボットデザインが必要であるということを、バックキャスト的に述べてきた。

国際標準化戦略は、国際競争力に負けないようにする方策と、打って出る戦略とに分けられるが、国際標準の背景には、新しい技術の安全をどのように考え、国際的に認証を行うことで、技術流出の歯止めとなると同時に、危ない技術流入の阻止という位置づけがあるが、残念ながら、現段階で日本では、ロボットの認証についての国際的な相互認証の動きは起きていない。そのことの原因は、残念ながら認証文化の根付いているドイツなど欧州の強大な認証機関に比べて、日本の認証機関は細かく細分化されており、海外の認証機関と対等に付き合うことが難しいこともある。

ここでは、これらのバックキャスト型のモデルが実際に成功するための方策の一つである、ロボットの国際標準化活動について、現状動いている標準化活動を紹介したい。

6.4.2. 生活支援ロボット安全検証センターの取り組み

生活支援ロボットが、「ダーウィンの海」を乗り越える一つの方策が、生活支援ロボットの安全性を検証する「生活支援ロボット安全検証センター」（図6-29）の取り組みであると考えるので、ここで紹介したい。

ここでは、生活支援ロボットの安全性をワンストップで検証し認証することを可能とするため、平成21年度から25年度の5年間 “NEDO生活支援ロボット実用化プロジェクト” を行っている。本プロジェクトは基本的に安全性を検証・認証するための試験方法などの開発を行うコンソーシアムと、安全技術を実装したロボットを作る企業コンソーシアムとからなる（図6-30）。

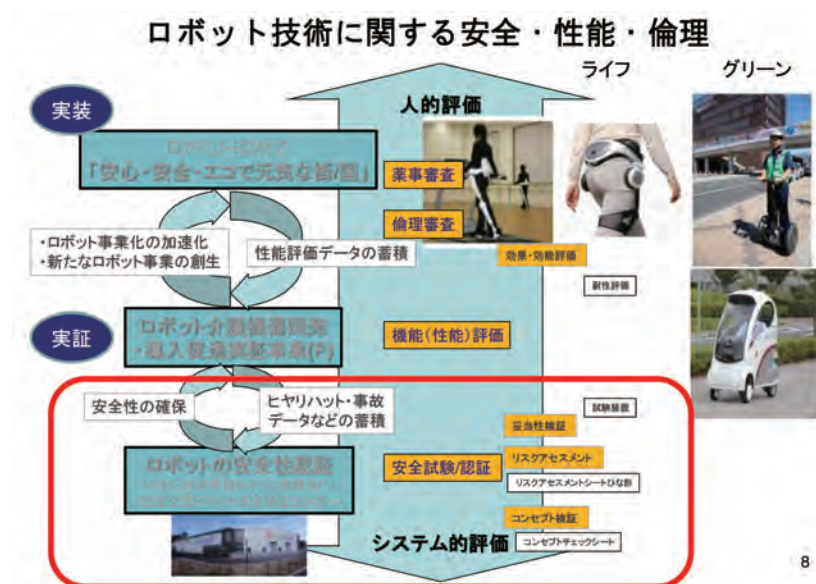
生活支援ロボットの安全性を評価する手法としては、世界的にその評価基準や試験方法などが決められているものはなく、本プロジェクトに置いて、国際標準化ISO TC184SC2へ提案をしながら、ロボット企業と一体になりつつ、安全技術を実装したロボットの開発とその試験方法などを同時に議論しながら研究開発を進めている。

通常の規格・認証と、生活支援ロボットなどの新しい技術の規格・認証との大きく異なるところは、新しいロボット（技術）ができるたびに、その安全性をどうやって試験・評価し、認証としてユーザとロボット企業の間の安全についての合意を形成するか、というところである。

間違っていただきたくないのは、“すべてにおいて完全安全はなく”、残留リスクに対してどのような処置を行うか（行ったか）というリスクアセスメントをベースに考えていることである。

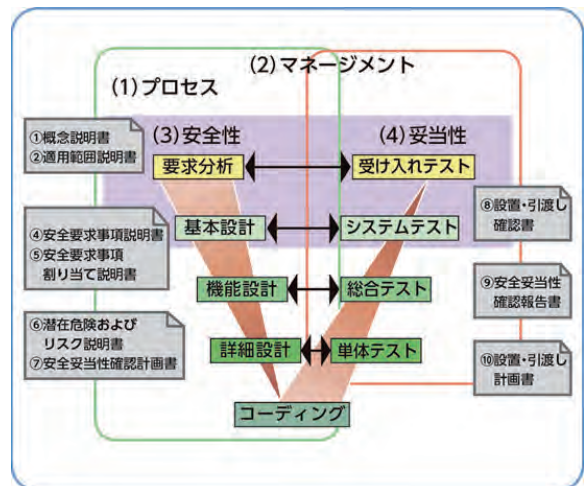
日本は、生活支援ロボットを実用化しようとし、開発している企業はあるものの、安全についての理念や合意形成については、欧州に10年程度、遅れているといわざるを得ない。3.11の福島原発の事故などで、完全安全はないということは痛いほどわかったつもりになっているものの、日本において完全でない安全について、たとえそのベネフィットはあるものの、リスクがゼロではないものを、ユーザとロボット企業が合意形成して使うということについては、

図6-29　生活支援ロボット安全検証センター

図6-30　実証から実装へ

非常に保守的で、このままでは日本が優位に立つ生活支援ロボットの技術も、高度医療などと同様に、海外で実証され、逆輸入される可能性があることを危惧する。

（1）安全なロボットを開発するために

システムを高信頼かつ安全に開発するための手法としては、V字プロセス（図6-31）が求められる。その中で、特にロボットを作る際に重要なのは、設計段階におけるコンセプトの明確化であると考える。

図6-31　プロセス図

A）企画・設計段階：「コンセプトの明確化」

この場合のコンセプトとは、ロボットの運用を想定しながら、要求事項を明確化することであるが、運用を想定するにはその市場規模などの見積もりが必要であり、安全性を明確化するには人を含む想定環境を設定し、考えられるリスクの洗い出しを行うことが必要とされる。運用を想定することの必要性としては、どの程度の人が使うのか、例えば何の事前知識もない人が使うのと、事前講習などを受けた人とでは、後述のリスクアセスメント内容が大きく異なるし、介護者が使うのか、被介護者が使うのかによっても、リスクアセスメント内容はまるっきり異なる。

この際、同時に必要となるのは、関連する規格・法律・認証スキームなどについての調査である。

特に企画・設計段階でのコンセプトの明確化は、機能を後付けできるようなロボットにおいても、想定機能を事前に明確にしてく必要があり、想定以外の機能が追加される場合には、再設計を余儀なくされることがあることから、注意が必要である。

本質安全／機能安全

システムの安全性を考える際、本質安全と機能安全という二つの概念があるが、基本的には、可能な限り本質安全設計を行い、どうしても本質安全設計では設計できない部分（安全関連系）だけを機能安全設計に基づいて設計するということである。

本質安全設計の例としては、人を隔離する方法や、パワーや速度を人に危害を加えない程度

に落とすなどが考えられる。人とロボットを隔離することが難しい生活支援ロボットの場合には、多くの場合、パワーや速度を落とすことなどで本質安全が確保できるが、先に述べた機器のビジネスモデルとの兼ね合いで、どうしても本質安全が確保できない場合には、機能安全設計に準じたシステムの設計が求められる。

機能安全設計とは、システムがその機能的に安全性を保てるかどうかの立証が必要となるが、そのレベルによってSILが規定され、設計方法がそれぞれ異なる。

リスクアセスメント

前述のように、基本設計を行いながら、以下のようなリスクアセスメントを行う。

- 想定利用環境
- 想定危険源（重篤度・確率）
- 危険源への対処法
- 残留リスクへの対応

よく企業などから質問を受けるのは、どこまでリスクを考慮してアセスメントすればよいのか、という程度問題に帰着するが、どこまでやればよい、やらなければいけない、という基準は、その時々の社会的な常識などから判断されるものであるので、一般的な基準はないと言わざるを得ない。

いずれにしても、万が一、事故が起きて裁判になった際には、企業は製造者責任を問われることとなるので、事故原因が想定されていたリスクか否か、そのリスクに対して何らかの対処がされていたか否か、さらには、リスクの想定が妥当であったか、などが問われることとなる。

B）システム実装段階：「効率的実装」

設計段階から実装段階においては、特に認証を取ることを想定した場合には、すべてのエビデンスを残しながら、設計・実装・評価を行う必要がある。多くの場合、認証を取る際の障壁となるのはこの部分で、開発をしてしまってからすべてのドキュメントを用意するのはほぼ不可能であると同時に、エビデンスを逐一残しながらの開発プロセスを手作業で行うのも、非常に作業が煩雑となる。一般的には、効率的実装を可能とする開発ツールを使うことが求められる。

C）検証段階：「試験／認証」

最後に検証段階になるが、ここでは設計段階に想定した仕様を満たしているかどうかの妥当性検証が行われる。つくばに建てられた生活支援ロボット安全検証センターは、基本的にはこの部分を行うための機関である。

一般的に、A）－C）を通して時間を要するのはA）のプロセスであり、ここには多くのノウハウが必要であることからコンサルなどの知見が必要とされる。

D）実証段階：「評価」

前述までのプロセスは、最低限の安全性を確保するためのものであるが、実際に製品化するためには、その製品を部分的に市場に投入し、その評価を行うことが求められる。

もしこれが医療機器であれば、薬事審査のプロセスにのっとった評価を行う必要があるが、基本的に薬事審査は患者への「効果・効能」を評価するものであり、医療機器ではないものについては、企業における個別の性能評価が必要とされる。

実際の市場に投入し、その性能を評価するためには、実証評価機関が行う“倫理審査”を通すことはもちろん、万が一のための保険などへの加入も必要である。

昨今、地方での特区において実証実験を誘致されているが、倫理審査と保険制度などの体制が確立した実証特区の確立が求められている。

E）社会実装段階：「ネットワーク」

最終的に最低限の安全を担保し、実証評価を経て、製品化するには、当然のことながら、販路、サービス体制、アフターケア体制の確立が大きな問題となる。

生活支援ロボットは、ここしばらくは、単品の“つるし売り”（B2C）ではなく、サービスの一環としての機器提供（B2B）であると考えられている。製造業とサービス業では事業形態が大きく異なることから、単一製造企業だけではこの体制を作りきれないことが多いと考えられる。

そういうことからも、ロボットビジネスを成功させるためには、サービス事業体を巻き込んだコーディネーション能力を求められることから、前述のサービスコーディネータ／コンサルタント機能を有する役回りの重要性が認識されている。

参考文献

[1]　ロボット技術の国際標準化活動（OMG）の紹介.
(http://staff.aist.go.jp/t.kotoku/omg/omg.html)
[2]　ロボット技術国際標準化会議の報告.
(http://www.nedo.go.jp/content/100105101.pdf)
[3]　知的財産推進計画2012.
(http://www.kantei.go.jp/jp/singi/titeki2/120529/siryou01-2.pdf)
[4]　生活支援ロボット安全検証センター.
(http://robotsafety.jp/wordpress/)

～生活支援ロボットの安全に関する法律と制度の調査～

一般財団法人製造科学技術センターは、平成21年度より開始されたNEDO事業「生活支援ロボット実用化プロジェクト　生活支援ロボットの安全性検証手法の研究開発」を受託し、生活支援ロボットを実用化するために考慮すべき法制度を、国内外の公開情報を基に調査した。当該分野の有識者で構成される調査研究委員会を設置して年数回の定例会議を開催した。また、プロジェクト・コンソーシアムのメンバーをオブザーバに加えて、コンソーシアムと一体化した委員会運営を行った。

調査研究の方法と範囲を図に示す。国内外から収集した情報を調査研究委員会で分析して詳細を付属書に整理した。付属書は下記の４分冊から構成される。

付属書Ⅰ	生活支援ロボットのための法律制度に関する需用調査
付属書Ⅱ	生活支援ロボットのための日本の法律制度の調査
付属書Ⅲ	生活支援ロボットのための海外の法律制度の調査
付属書Ⅳ	生活支援ロボットのための安全認証に要求される要件の調査

プロジェクト終了後、この成果を公開データベース（https://www.rtsic.jp/）から情報発信する。

各年度の主な調査内容

H21年度は、法制度に関する需用調査を行った（付属書Ⅰ）。

H22年度は、需用調査結果を参考にして、生活支援ロボットと関係が深い日本の法律、社会制度、安全規格を調査して、生活支援ロボット関係法令集をまとめた（付属書Ⅱ）。H23年度は、日本と米国や欧州の法制度の比較調査を行った（付属書Ⅲ）。H24年度は、アジアにおける生活支援ロボットの潜在市場を分析した上で、世界各国の安全認証制度のポテンシャルを総合的に比較検討した（付属書Ⅳの第１部）。H25年度は、PLリスクに縛られず、果敢にチャレンジする欧米人のメンタリティに着目し、法制度の観点から、この問題を解決する方策について検討した（付属書Ⅳの第2、3部）。

今後の課題

我が国において、安全認証を取り巻く環境が整備され、適切な教育が行われ、欧米型のState of the artの信念が育まれるまでは、粘り強く安全認証の意義を伝え続けな

ければならない。欧米人と日本人の考え方の違いを説明し、世界は、簡潔で低コストな認証制度の構築に向けて一歩ずつ前進し、認証スキームが目標とする“Tested Once, Accepted Everywhere”に向けて動いているという現実を伝え続ける必要がある。

加藤 雅弘（一般財団法人製造科学技術センター ロボット技術推進室）

第6章

6.4.3. デファクト標準

デファクト標準とは、標準化機関の承認の有無とは関係なく、市場の大勢を占める「事実上の標準」のことである。製品がマス・マーケットを目指してサービスが多様化する普及期においては、デファクト標準の形成にも注視する必要がある。

次世代ロボット市場では、多様な環境への適合のため、システムインテグレーションの視点からの、サービス統合が必要とされている。この時、ある特定のロボットシステムが普及すればするほど、世界中のネットワークへのアクセスや、サービス資源の利用が容易となり、そのシェアが大幅に拡大する。逆に、それと互換性のないシステムが市場から消えていくという経済効果が生まれる。この経済効果とは、同じインフラを共有して互いにつながり合うユーザの数が多くなればなるほど、ユーザー一人ひとりのメリットが急増する「ネットワーク外部性」と呼ばれる経済理論のことである。このようなネットワーク外部性をもつ製品では、デファクト標準が形成されやすい。つまり、次世代ロボット市場は、デファクト標準を形成しやすい市場へと向かっている。これに対応するためには、複数の異なるモノやシステム、及び、ロボットを相互接続するためのプラットフォームの確保が必須となる。

（1）オープン領域とクローズ領域

デファクト標準に備えたビジネス戦略の一つとして、サービス統合基盤への取組みは重要な意味を持つ。ここで、2000年代で、OS/ミドルウェア層のサービス統合基盤への取組みが製品のアーキテクチャを決定し、デファクト化による市場シェアの優位を築いた事例として、スマートフォンをとりあげたい。

「iOS」は、Appleの提供するiPhoneの統合ソフトウェアプラットフォームである。「iOS」では、UNIX系のPOSIXに準拠したDarwinカーネル（XNU）の上位層として、CoreOSレイヤ、Core Serviceレイヤ、Mediaレイヤ、Cocoaベースのアプリケーションレイヤである Cocoa Touchレイヤを構成し、これらを統合し、サービス開発フレームワークとして提供されている。一方、Googleの提供する「Android」では、Linuxカーネルの上位層として、ネイティブコードで動作する実行環境と、その上で動作するミドルウェアやユーザ機能をパッケージ化して提供されている。このパッケージには、カーネル、ミドルウェア、OSに加え、ユーザインタフェース、電話帳、Webブラウザ、Google Mapなど、今や携帯端末に標準的となった基本ソフトウェア群までが含まれる。このように、スマートフォンにおけるサービス統合基盤は、極めて重層的なソフトウェアの層で構成される。

一般の開発ユーザは、AppleやGoogleが、サービス統合基盤を提供しているため、下位レイヤのUNIXやLinuxを意識せずとも、抽象化された上位レイヤで開発を行うことができる。つまり、iOS、Androidとも、公開されたアプリケーション・プログラミング・インタフェース（API：Application Programming Interface）を利用することにより、誰もがWebサービス開発を行うことができる。このサービス統合基盤とAPIの提供には、両社とも膨大な資金やリ

ソースを投入してきた。一方、APIはオープンであるが、自社の強みとなるコアテクノロジーと密に連携する機能やアプリケーションは、プロプライエタリな手法で提供されている。すなわち、一般ユーザがアプリケーション開発を行うオープン領域と、自社のテクノロジーの核となるクローズ領域を、ビジネス戦略として明確に定義し、市場への展開が行われている。

（2）デファクト標準の競争戦略

RTM（RTミドルウェア）やROS（Robot Operating System）、及びそれらと連携可能なロボット要素技術を含め、多くのオープン団体の設立やオープン化の推進により、ロボットのオープンイノベーションが進展してきたことは、本章を含め、本書の随所に述べられている。ただし、一方で、ハードウェアプラットフォームの提供や、クラウドベースのロボットサービスの登場により、これまでのロボット要素技術を集約し、統合プラットフォーム化する動きが非常に活発化している点は、見落としてはならない。

これは、ロボットビジネスが、オープン化のフェーズからビジネス化へ向けたシステム構造の確立、自社や自国の競争優位に貢献するための仕組みを確立するフェーズへ移行したことを示している。このフェーズにおいては、システム構造がビジネス化へ向けて再編成される可能性が非常に高い。我が国のロボット産業も、オープン化と統合、及びクローズ領域を見据えた新たな取り組みへと転換させないと、ビジネスの仕組み作りで裂蹄に追い込まれる。

デファクトをとることが、ただちに収益化に結びつくとはかぎらない。さらに、ロボットを相互接続するためには一つのデファクトスタンダードが確立されることは必須ではない。情報処理産業では、相互接続の仕様を規定することで複数のベンダの実装を許容する仕組みが成立している。例えば、TCP/IP、HTTP、CORBA、Webサービス等の通信層のレイヤや、事務文書の規定など、多くあげられる。これは、各種の標準団体や業界団体の活動の結果といえる。この相互接続戦略は、一つのデファクトに市場シェアを席巻されることなく、複数の事業者がビジネスをすすめることのできる数少ない戦略の一つである。ロボットへの適用の試みとしてはRSiがある。

ROSを発端とするロボットの要素技術のオープン化と統合の潮流、及び、Baxter等の取組みは、ソフトウェア基盤のイノベーション競争である。海外のソフトウェアに、プラットフォームを奪われることなく、日本の競争力を維持するためには、製品がマス・マーケットを目指してサービスが多様化する普及期に、新たに出現するサービス統合基盤の開発への取組みを強化する必要がある。また、ソフトウェアプラットフォームには、ハードウェアと同様の機能的な要件の他に、他社との競合関係や囲い込み（ロックイン）、マーケット戦略、価格戦略など、物理的な実態のあるハードウェアとは異なる、ソフトウェアならではの側面がある。また、対抗の戦略としてもオープン戦略だけでなく、標準化、相互運用、インタフェース設計、知財など、多くの考慮すべきビジネス戦略がある。ロボット分野においてのこのような議論は、まだはじまったばかりである。IT産業やソフトウェア産業の国内外の動向、成功のみならず失敗の事例をも教訓とし、我が国の企業が有利になるプラットフォーム戦略立案へ臨む必要がある。

参考文献

[1]　小川紘一（2014年）「オープン＆クローズ戦略」翔泳社．

[2]　成田雅彦ほか「ロボット技術のオープンイノベーション Robot-OS（ROS）の戦略と我が国ロボット技術開発の方向性」（2012年）、東京大学知的資産経営総括寄付講座ディスカッションペーパーNo.27.

第6章

6-5

～「こころ」を持ったロボットは必要か？～

私は、社会心理学の立場から危機やリスクに対する人間の対処について研究をしている。Apple Ⅱが売り出された1975年頃から、心理学の世界でも認知科学として「こころ」を機械に実装することを目指す研究が盛んになってきた。日本では、亡くなられた戸田正直先生が大きな足跡を残されている。最近では、ロボット研究者が心理学関係の学会で、心理学研究者との共同研究成果などを発表することも珍しくはなくなってきた。

機械に「こころ」を実装するとは何を意味するだろうか。ここで「こころ（心）」を定義するようなある意味無謀とも思える大胆な試みをするつもりはない。しかし、社会心理学の知見から、「こころ」が持ついくつかの特徴を指摘することはできるのではないかと思う。その一つは、自分と他者を別の存在であると区別する認識を持っていることである。自我があるのが「こころ」だといってもよい。その上で、私たちの「こころ」は、自分には存在する価値があることを確認しようと動機づけられている。つまり自尊心である。私たちは自尊心を保つために、自己正当化して現実認識をする。客観的事実を歪めてでも、自分は常に絶対正しいと認識したいのである。（具体的には例えば、リスク心理では、客観的に判断すれば危険な行為であっても、自分には危険ではないと信じる非現実的楽観主義とよぶ認識メカニズムがある。）この自己正当化による現実認識の歪みがいかに強固なものであるかは、半世紀以上にわたって数多くの多様な社会心理学研究が証明してきた。臨床心理学的観点からも、自尊心を保ち自己正当化しようとしない精神状態は、カウンセリングなど支援の介入を必要とすると判断される。もちろん、機械には自己正当化の機能は不要であるとすることはできる。しかし、自己正当化の機能をもたない情報処理機が「こころ」を実装しているとは、人々は評価しないだろうと私は思う。それは、人間の「こころ」と同じではないからである。機械が人間の「こころ」を理解するようになることは、つまり、人間の「こころ」を理解して適切に対応する機械を開発することは、私たち人間にとって大変に有益なことであろう（ただし、悪用されない限りは）。その開発・研究は否定されるべきではない。けれども、人間と同じ「こころ」を実装した機械を作ることははたして必要であろうか。機械が「こころ」を理解することと、機械に「こころ」を実装することとは全く意味が違う。人間と同じ「こころ」を実装した機械を作ることは、新たな人間を作ることと同じである。だから、人間と同じ「こころ」を実装した機械には人権も認めなければならない。人間と同じ「こころ」を持った存在に人権を認めないことがいかに正義に反することかは議論するまでもないであろう。だが、私たちに人権を有する機械が必要であろうか。そもそも、人間に

第6章

とって機械とは道具であり、人間に奉仕してくれるものである。それは人権とは相容れないものである。現在のロボット開発の成果では、実装できる機能は人間と同じ「こころ」とはほど遠い水準であるかもしれない。しかし、「こころ」を機械に実装する道筋が見えはじめてきているのではないだろうか。少年の頃読んだ漫画『鉄腕アトム』で描かれていた世界を、現実のものとして議論しなければならないときにきているように思われる。

土田 昭司（関西大学 社会安全学部 安全マネジメント学科）

6.5. まとめ

本章は、現在ある技術からフォアキャスト型の議論ではなく、将来のあるべき未来像を描いたうえで、それに必要な技術をバックキャスト的に描く議論の手法を取った。また、そのうえであるべき姿を現実にするための方策としては、“モノづくり主導”ではダメで、“コトづくり主導”サービス主導型ロボット設計の重要性について取り上げた。

本白書の副題にもなっている、“社会を変えようとするとき、そこにロボット技術がある！”は、分解するならば、以下のように咀嚼できると考える。

1）社会を変えようとするモチベーション：社会の将来のグランドデザインが重要：「社会システムデザイン」

2）社会の中でサービス設計が必要：「サービスシステムデザイン」

3）サービスを実現するために必要となるロボット設計が必要：「システムデザイン」と「ソフトウェアプラットフォーム」

本章ではこれらを実践した例として、いくつかの地域での活動した例として、産総研の「気仙沼～絆～プロジェクト」などの事例を紹介した。

今後、高齢化社会などの社会的な課題を解決するための方策として、社会的課題そのものを“一般解”として解決することは非常に困難であり、ある特定の地域やサービスなどの境界条件を決めたうえで、いわゆる“特殊解”を探す、地域に密着しながら社会システムを構築していきながら、サービスシステムやロボットシステム、ソフトウェアプラットフォームを汎用的にデザインする経験を有する人材の育成が重要であると考える。

そのためには、従来の研究者が“死の谷”を乗り越えるまでの社会実証までの研究は、いわゆる「技術の足し合わせ技術」であり、ここで重要となるのは、“ダーウィンの海”を超えようとする社会実装までの研究は「技術を引き算する技術」であるということを理解することが重要である。したがって、今までの研究室での足し合わせ技術ではなく、実学として社会の中で試しながら、可能な限りそぎ落としたモノやシステムをどうやって作っていくか、という芸術にも近い技術なのではなかろうか。

このような技術は、従来型の研究の領域を超越しているが、日本では古来、「工芸」として、技術と芸術の融合領域が伝承されてきた経験を、今こそ活かす時なのかも知れない。さらに、システム化、ソフトウェア技術は、大量生産の製品を前提とした技術である。ワールドワイドの製品提供は、日本が優位性を経験した分野の一つである。これらの経験を生かすことができると考えている。

第6章執筆者

ワーキングメンバー本文執筆者

大場　光太郎　　独立行政法人産業技術総合研究所 知能システム研究部門
風間　博之　　株式会社NTTデータ 技術開発本部 ロボティクスインテグレーション推進室
小林　正啓　　花水木法律事務所 弁護士
成田　雅彦　　産業技術大学院大学 産業技術研究科情報アーキテクチャ専攻

コラム執筆者

6-1

成田　雅彦　　産業技術大学院大学 産業技術研究科情報アーキテクチャ専攻

6-2

小林　正啓　　花水木法律事務所 弁護士

6-3

小林　正啓　　花水木法律事務所 弁護士

6-4

加藤　雅弘　　一般財団法人製造科学技術センター ロボット技術推進室

6-5

土田　昭司　　関西大学 社会安全学部 安全マネジメント学科

7 まとめ

本白書では、“社会を変えようとするとき、そこにロボット技術がある！”と題し、人々の生活や社会に密着した「ロボット技術（RT）」の事例紹介や、産業競争力の担い手として期待が高まっているロボット分野の市場、及び国内外の技術動向について述べた。第1章ではロボットの基本的なことがらの解説を行った。第2章ではロボット利用の意義、必要性、取り巻く環境について、多方面の視点からまとめた。第3章では、日本の製造業の変化と製造業用ロボットの発展形態をたどりつつ、現在のロボット産業の課題分析と将来への期待について述べた。第4章では生活とサービス領域のロボット化事業を取り上げ、その製品やサービスを提供する事業の中に「ロボット化」が取り入れられている事業を対象として具体例を述べた。第5章では、フィールドロボットについて、経済性向上、危険回避、新しい社会創造に焦点をあて、そこからなるべく多くの分野に思考展開できるように配慮しつつ述べた。第6章では、第5章までのように、現在の技術からフォアキャスト型の議論ではなく、将来のあるべき未来像を描いたうえで、それに必要な技術をバックキャスト的に議論した。次節以降に、第1章から第6章の概要、及び社会を変えるときの課題と提言を述べる。

7.1. 第1章　ロボットについて

7.1.1.　概要

第1章ではロボットについて基本的なことがらを解説している。具体的にはロボット及びロボット技術の定義、ロボットの歴史、ロボットの要素、そしてロボットの代表的な事例をとりあげている。ここで記載されている内容は、現時点での一般的なものである。第2章以降に将来的な展開が述べられることになる。

まず、ロボット及びロボット技術の定義について、ここでの定義は本白書の趣旨に照らし合わせ、単に学術的・技術的なもの、つまりロボットあるいはロボット的システムをどう作るかといったことだけではなく、ロボットやロボット技術がどのようにつかわれるのか、その産業的、社会的な役割、将来的な展開なども視野に入れたものとなるように工夫したものである。

具体的には、「本白書におけるロボット及びロボット技術の定義として、ある対象について、それをロボット政策研究会での定義に矛盾しない程度に『ロボット』あるいは『ロボット技術』を取り入れたシステムとしてのロボットやロボット化された装置と捉えることで、当該ロボットに関心を持つもの同士の情報交換、連携活動が促進され、それにより当該対象がより発展し、

その製品化、事業化、サービス産業等への展開、公共部門も含む社会実装等に結びつくことが期待される工学的製作物及び当該物の製作と、製造業分野はもとよりサービス業分野さらにはロボット化することで価値創造が可能となるあらゆる分野での利用に関わる中心技術をロボット及びロボット技術と定義する」というものである。これにより、本白書の狙いであるロボット及びロボット技術の応用的展開が幅広く読めるようになったと考えている。

ロボットの歴史については、本白書の趣旨にそったマイルストーンに注目した。工学的な観点からロボットの起源としてオートマタやからくりとするのが適切で、その後の発展のキートピックとして

• 1778年　蒸気機関の回転数制御（ワット）
• 1948年　N.ウィーナー「サイバネティクス」
• 1954年　J.デボル「プログラマブル搬送機」
• 1958年　シャノン＆ミンスキー「マニピュレータ」
• 1961年　エルンスト「マニピュレータ」実用化
• 1962年　産業用ロボット「ユニメート」及び「バーサトラン」
• 1971年　マイクロコンピュータ

などがあげられる。

ロボット技術の展開はまた、コンピュータと類似点が多いのも特徴的である。すなわち、コンピュータは計算を行う機械から始まり、半導体技術、計算機技術の進展によりコントローラとしての適用範囲が広がり、さらにネットワーク化されて人間の知能・情報処理を代替強化するシステムとして社会に浸透してきた。ロボットも人間の労働の代替に始まるが、ビジョンなどの作業対象の識別技術、これらを統合した人間型ロボットへと発展してきた。さらに人工知能の初期のような積み木の世界から、実世界を対象とする「実世界コンピューティング」と並行するように進展してきた。具体的には人間の身体能力の補完拡張として外観にこだわらないRT技術という昇華をとげ、現在はとくに超高齢社会における社会のバリアフリー化などへの期待が高まっている。

• ITよりもさらに大きいインパクト
• エンベッディドRT
• ユビキタスRT、ネットワークによる分散協調
• オープン化、相互利用性、情報の再利用性
• コンピュータによる脳の外化＋ロボットによる身体性の外化

などが主要なポイントである。

ロボットの技術要素の重要なものとして、ここではRTミドルウェアを代表とするシステム化技術が最初にあげられていることは注目に値する。すなわちシステムインテグレーション自体がロボティクスにおける基盤技術という位置付けなのである。次にあげられている環境知能

化技術も従来のロボット工学にはなかった視点である。すなわち、環境を知能化または構造化することで、環境内にいる人を支援することや、ロボットが活動しやすい場を提供することが試みられている。

センサやアクチュエータももちろんロボットの重要な技術要素であるが、ロボットに限らず工業用製品として多種多様な開発・革新が進んでいる。その中でもコンピュータはロボットの重要な技術要素であるが、それはシステム構築要素としての役割であって、OSやリアルタイム技術、RTミドルウェア、認識技術といったシステム統合技術として理解されていることが最近の特徴といえよう。

ロボットの代表的な事例としては下記のものがとりあげられているが、ここでは概略のみあげておく。詳細は本文を参照されたい。

① ロボットスーツHAL；介護作業支援やリハビリでの利用を目指したパワードスーツである。最近CEマークを取得、ドイツでの労災保険対象となるなど現場活用の見通しが高まっている。

② 掃除用ロボット　ロボハイター；オフィスビルの掃除ビジネスで、サービスロボットの商用化・事業モデルを構築、実導入にこぎつけた数少ない事例である。サービスロボットのビジネスモデルの手本とされている。

③ セラピーロボット　パロ；セラピー用ロボットのさきがけとして医療介護での実用化を目指している。デンマークや米国で実績をあげつつある。

④ 災害対応ロボット　Quince；レスキュー向けロボットとして開発され、福島第一原発で大きな成果をあげたことで災害対応ロボット分野のさきがけとなった。

⑤ ロボットカー　Google Car；Googleとスタンフォード大学が共同開発した自律走行可能な自動車である。街中の無人配送を目指している。米国ではこのような自律走行型の自動車の利用が認め始められており、新産業となることが期待されている。

⑥ 病院丸ごとロボット化；ロボット単体ではなく、病院内の業務分析やコンサルティング、システムソリューションとして、ロボット及びインフラの統合導入を実現したもので、ロボット事業の新しいビジネスモデルとして注目される。

以上は、いずれも新たなコンセプトで開発されたロボットであり、すでに実用化されていたり、実用化に近づいていたりしており、ロボットの新しい分野を切り開くものとして期待されている。

7.1.2.　今後の課題と提言

ロボットの定義として、単にロボットをつくる側の視点だけでなく、ロボットを利用する側からの視点にたち、社会の多様性を取り入れたものを提案した。この定義がもたらす効果は現時点では未定であるが、この定義にそって様々なロボット政策、研究開発活動、産業活動等が

体系的に進められることにより効果を発揮できると思う。すなわち、ロボットに関わることで社会を発展させてゆこうという関心・意図をもった人々のコミュニティを育てていくこと、それにより新しいロボット応用を共創してゆくことがこれからの課題であろう。なお、その実践にあたっては、本白書がロボットについての技術的なことから産業活用、社会活用など、導入を考える際のヒントとして役に立つものと考えている。

7.2. 第2章　ロボット利用の意義・必要性・取り巻く環境

7.2.1. 概要

第2章ではロボット利用の意義、必要性、取り巻く環境について、世界的視野、産業、展示会・イベント、ロボット関連所管、地域、学会・講演会、規格・標準化など多方面の視点からまとめた。ロボットは工場など製造業用を中心に生産性向上、品質の安定化、また、人が容易に近づけない場所での作業を中心に発展してきた。最近ではクリーナーロボットなど民生用にも100億円以上の市場ができ、医療、福祉、農業などにも利用が広がって来ている。特に期待の高い応用先として災害対応と福祉・介護があげられ、ロボット技術の果たす役割は単なる市場創出だけではなく、世界の環境保全への貢献としても大変大きなものである。国や地域で連携したロボットの取り組みも常態化してきた。今後の普及を鑑みて標準化に向けた活動も盛んである。ミドルウェアの仕様はOMGにて国際標準に採用され、生活支援用ロボットもISO認証を取得するものも出てきた。イベントにおいても使うシーンを想定したロボットの展示が増えている。ロボットの応用は広がって来ており、家電、自動車や医療機器などにもロボット技術を取り入れたものが多くみられるようになり、新しい産業になりそうな勢いである。これらはロボットの開発環境がまさに整いつつあり、新たにロボットに参入しようとする動きを表している。高品質のものづくり、医療、福祉、災害などに向けた新しいサービス用ロボットの市場が作られつつある。また、一方で、産業用ロボットでは、いまだ世界トップであるが、諸外国に追いつかれつつある。実用化に関しては、話題は米国からのものが多い。米国では国家イニシアチブとして、また、欧州ではHorizon2020などしっかりとしたプロジェクトがあり、我が国としても見通しを持った骨太な方針が求められている。

産業用ロボットにおいては、高い技術力や製品信頼性を向上させつつ、教示レス化や新しい分野への応用、ロボットによる新しい生産方式が期待されている。

サービスロボットは人の生活を支援し活力ある社会を築くために、ネットワーク技術とうまく融合したモデルの形成が重要である。たくさんのアプリケーションができ、ユーザのニーズに応じたサービスを早く、安く提供することができるようになれば、その効果は計り知れない。まさにそのようなプラットフォームの完成を急ぐべきである。

また、教育は人材育成の観点から、あらゆる分野において産業や社会を支えるものである。ロボットを題材とした教育、教育体制は、課題解決能力の向上ばかりでなく、異分野交流、ロボット技術の社会への普及、シニア人材による技術伝承も含め、欠かすことのできないものである。それぞれのまとめについては以降に述べる。

（1）導入ポテンシャル

2010年に経済産業省とNEDOがロボット産業の成長を可視化するために2035年に向けた将来市場（国内生産量）の推計を行った。その結果、2015年1.6兆円、2020年2.9兆円、2025年5.3兆円、2035年9.7兆円と予測された。

2013年7月には「ロボット産業市場動向調査」で2010年の市場予測のフォローアップが足元市場規模として実施された。中国市場が急速に拡大し、日本を含めドイツ、韓国が市場獲得に動いている状況である。

（2）産業用ロボットにおける意義・必要性

我が国で産業用ロボットが普及し始めて30年余りが経過した。この間産業用ロボットは多くの製造現場で利用されるようになってはきた。産業用ロボットは多くの3K作業（危険、汚い、きつい）から作業者を解放し、安定した品質の製品の提供、熟練労働者不足を補うなど世界のものづくりに大いに貢献してきた。また今後は少子高齢化による更なる労働力不足や、熟練工の減少が予測されており、産業用ロボットに対する期待はさらに大きくなっている。

また、新しい分野として、食品・薬品・化粧品の研究・開発・製造分野で産業用ロボットの導入が期待されている。特に、薬品分野での試薬・検体分析前処理ロボットでは、熟練した検査員が行う場合に比べてデータのバラつきが少なく精度の高い実験データを得ることが可能で、病原菌ウイルスを扱うような危険な作業環境から検査員を解放することができる。

一方で、産業用ロボットの課題としては、依然として教示方法があげられる。ティーチングペンダントを用いた教示では、多関節型ロボットを意図するように操作するまでにはある程度の訓練が必要なうえ、関節の多いアームや複数のアームを協調させる最近のロボットシステムの場合は、熟練した教示者でもかなりの時間を要する作業となっている。今後より複雑になっていくことが予想されるロボットシステムにとって教示作業の簡易化が最も大きな課題である。教示には、動作軌跡教示、エアカット教示、スキル教示、画像処理技術を取り込んだビジョンセンサ教示などがあるが、いずれも専門性が必要とされている。今後は究極の課題として教示レスを実現する必要がある。これにはロボットの知能化が不可欠であり、多くの研究成果の統合や、研究機関の協力が必要である。

（3）社会におけるロボットの意義・必要性

A）超高齢社会におけるロボットサービスの必要性

超高齢社会に突入した我が国では、高齢者・障害者の生活支援・社会参加を実現するために、身体機能の補助や商業施設などにおける案内支援・情報提供、家庭での生活支援、コミュニティ形成支援、介護者の負担軽減のためにロボットやロボット技術を用いたサービスへの期待が高まっている。高齢者・障害者に、あたかも子供や孫と話をしているような感覚を提供することができる。これらの機能が社会参加の促進に役立つことが実験から明らかになってきており、サービスロボットの開発によって、健康を長く維持して、自立的に暮らす、生きがいをもって働けるうちはいつまでも働き、社会参加する、などが可能になり、その成果が、そのまま超高齢社会に対応した新産業創出とグローバル展開の原動力になることが期待されている。

B）ロボットサービスプラットフォーム

環境（空間）、ロボット、ユーザの違いを把握し、多くのロボットを管理してサービスを提供するためには、ロボットサービスシステム・アーキテクチャが必要である。また、そのサービスが普及するためにはコストパフォーマンスの問題もある。あるロボットサービスシステムが開発できたとしても、提供されるサービスの価値がコストに見合うほどに高くなければ普及しない。複数のサービスを1つのロボットサービスシステムで提供できるようになれば、新しいサービス提供事業の形態が生まれ、これまで価格が見合わなかった事業もトータルとして見合う事業に変わっていくことが期待できる。そのために、IT事業に深く関わっている開発者がサービスロボット分野に参入しやすいプラットフォーム作りが課題である。

（4）教育におけるロボットの意義・必要性

A）ロボット教育の必要性

日本は、現在、少子高齢化が急速に進んでおり、日本の国際競争力を支えてきた高度科学技術人材、ものづくり人材が急速に減少しつつある。また、科学技術白書によれば、日本人の科学技術への関心、理解度が大幅に低くなってきているという現状がある。こういった状況の中で、理科離れ対策、ものづくり人材育成の手段として、ロボット教材の活用やロボット工作教室の開催といったロボット教育が注目を集めてきた。また、国内各地では、ロボットコンテスト活動やロボットホビー専門誌が発行される等、一般社会におけるロボットの人気も高い。

ロボット技術は、コンピュータからモータ制御、センシング技術、機械要素といった横断的、総合的な技術の結晶である。そのため、課題発見能力、自己解決能力を涵養するPBL（問題解決型学習）法等により、複数の要素技術を統合し、統合したシステム全体を最適化する能力を身につけさせる構成論的な教育に適しているといった特長がある。そのため、小中学生を対

象とした理科教育から企業の技術者の教育まで、幅広く活用可能な教育教材、教育手法を実現できる。

B）ロボット教育の課題

ロボット教育の課題として、今後は次の3つの方向性がロボット教育にとって重要となってくる。1点目は、異分野のコミュニティを活用することによる人材育成の試みである。例えば、地域コミュニティによる若年層を対象としたロボット教育活動があげられる。地元の企業や放送局等を巻き込み、地域全体の交流活動として位置づけることが効果的である。

2点目は、社会実装という視点のロボット教育への導入である。第4期科学技術基本計画に係わる様々な資料に「技術の社会実装」という視点が指摘されている。

最後の3点目は、シニア人材活用である。文部科学省の平成18年度科学技術白書において、将来、日本の少子高齢化が技術者・技能者の人材不足を招くことを既に指摘しており、年齢にかかわらず活用できる人材の確保と働ける環境の整備が求められている。これは、学校教育の現場はもとより、企業における人材育成の現場で非常に深刻な問題である。現状の日本の状況では、この問題に対してはシニア人材活用が有力な解決策である。シニア人材の持つ、人間力、知識、経験を次世代の技術者に伝承していく道筋を確立する必要がある。ロボット教育には、多方面の技術に明るい技術者が適任であることから、多くの経験を持つシニア人材の有効活用が効果的である。

7.2.2.　今後の課題と提言

第2章ではロボットを取り巻く環境について、多様な視点から概観し、産業用ロボット、社会に貢献するロボット、教育においてのロボットの意義や必要性について述べた。今後の期待としては、高齢者や若者が安心して暮らせるような医療や福祉の整った社会、災害などの被害を最小限にとどめる社会､宇宙や深海などのフロンティアを追求できる社会を実現するために、ロボット技術はその中核となること、安価で信頼性が高く提供されるロボットと、センサやスマートフォンが連携して、ロボットサービスが普及することがあげられる。

それらの実現に向けて、産業用ロボットにおいては、熟練作業者の技能を伝承できるようなスキルの獲得・教示技術、多種多様な製品を生産できる知的なロボットとともに、人と役割分担して一緒に楽しく作業できるような安全で協調性を備えたロボット技術が必要である｡一方、サービスロボットでは社会の中で自然に受け入れられるようなインタフェース技術やロボットサービスプラットフォームを利用し、物流やITとシステム化されたサービス開発を実現する必要がある。

ロボット教育はあらゆる世代に好奇心と創造力を高める特徴がある。そこで、すべての年代層の日常生活・文化・趣味などにおいて、教育・体験・社会参加を促進する直感的なインテグレーション技術が必要である。また、チャレンジングな課題設定に対するブレークスルーは、新たなサービスを実現するロボット開発・実用化を加速させる。

これらを推進するための施策、体制、制度などを総合的に考えて行くことが重要である。

7.3. 第3章　産業用ロボットの現状と課題

7.3.1. 概要

第3章では、製造業用途ロボットの現状と課題について、高度経済成長期以後の日本の製造業の変化と、ロボット産業の発展経緯を重ねあわせることからスタートして、日本の製造業、生産財産業、ロボット産業の抱える課題について分析を行った。

1970年代のオイルショックにより、それまで生産能力拡大により成長してきた日本の製造業は、生産効率を問われるようになったという社会的背景と、おりからのマイクロプロセッサとサーボモータの実用化普及という技術的背景から、プログラマブルな産業用ロボットが登場し初期成長を遂げた。初期の成長は、日本の優秀な生産技術者の進取の気性に支えられて急拡大した。一方で機械としてのロボットは、ACサーボ化、アブソリュートエンコーダ化、コントローラプロセッサの高速化、減速機など構成機器の高信頼化など技術的にも安定した生産財となって日本の製造業に定着した。ロボット産業の初期成長をリードしたのは自動車産業における溶接用途で、以後現在に至るまで最重要用途である。

1990年代初頭のバブル経済崩壊とともに拡大基調であったロボット市場も足踏み状態に入る。製造業の投資対効果の評価の目は厳しくなり、産業用ロボットの市況は厳しいものとなった。しかし、振り返ってみると、ロボット産業が初期成長時期の期待先行傾向型から、利用価値評価型に成熟する、という重要な期間でもあった。この時期に拡大したロボットの有効用途は液晶・半導体などの電子デバイスのクリーン製造プロセスである。

ITバブルに連動して2000年にそのクリーン製造プロセスとその下流である情報機器への集中設備投資が発生し、ロボット産業も需要急増を見たが、単年度で崩壊し2001年の需要激減を迎えた。1990年代初頭のバブル経済崩壊以来、ロボット産業2度目の試練である。しかし、その後のロボット産業は再成長ともいえる状況となり、2005年には日本製の多関節型ロボット出荷台数は過去最高の81,000台に達している。この再成長は、中国を嚆矢として始まった世界の製造拠点のアジア新興工業国へのシフトを背景としている。また一方では日本国内製造業の空洞化への懸念から、同時に国内製造業ではより、フレキシブルな変種変量生産に対応したセル生産へのロボット適用などのチャレンジ気運も立ち上がっている。

このように、産業用ロボットの歴史も30年を超えたわけであるが、経済的技術的背景から社会が期待する価値は変化し続けている。1980年代の初期成長期にはより良いロボットを追求し、1990年代の用途厳選模索期には価値あるロボット用途を求め、2000年代の再成長期にはより良きロボットソリューションを目指す、といったように、機械としてのロボットから有効な生産システムを構成する生産財への変化である。最近ではこの変化により、ロボット産業

においては、最終的に生産システムとしての価値を産みだすシステムインテグレータとしての位置づけがクローズアップされている。より難しい生産アプリケーションを実現することにより実現できる内需再生においても、アプリケーションの未発達な新興工業国で価値の高い生産システムを実現する海外新市場拡大においても、ロボットの良し悪しより、システムインテグレーションの巧拙の方が、市場拡大には大きな影響を及ぼす。

2008年後半から2009年にかけてのリーマンショックはロボット産業にとっても3度目で過去最大の試練となったものの、急回復により2011年には多関節型ロボット出荷台数は98,000台超えの過去最高となった。ただし、これは海外需要の急回復によるもので、ロボット産業はリーマンショック以降極端な海外需要依存型産業となってしまった。これは日本の生産財産業全体に通じる事情であり、ロボット産業や生産財産業独特の状況というよりは、日本の製造業の試練そのものに繋がっている。

7.3.2. 今後の課題と提言

産業用ロボットは、2012年の出荷で95,551台3,031億円、うち直接輸出66,871台1,792億円で輸出比率は台数で70%、金額で60%となっている。台数規模としては過去最高レベルにあるのが現在の産業用ロボットの姿である。アジアを中心とした市場の拡大は大いに喜ばしいものの、急激なグローバル化とそれに伴う国際競争の激化のきざしは、これまで需要側でも供給側でもロボット大国であった日本に変化点が訪れていることを示唆している。

自動化機器を代表する産業用ロボットの内需の縮退が示す、日本の製造業そのもの試練に立ち向かうことと、ロボット産業の振興策は同一の目的を持つものである。まずは、国内経済活力・雇用確保の両面で、国内製造業の活性化が望まれる。日本は他の新興工業国でも可能なものづくりのレベルに留まっているようでは勝ち目が無く、世界の最先端のものづくりを追求し続ける必要がある。そのためには、これまで実現できなかった難しい作業のロボット化や、これまで使えなかった製造分野でのロボット適用に果敢に取組む必要がある。

次に、グローバル市場においてこれまで培ってきた日本のロボット産業の強みを活かすための技術や体制を整備することである。日本のロボット産業は、ロボットメーカだけではなく、数多くのシステムインテグレータに支えられてきた。市場のグローバル化はロボットメーカにとっては輸出強化であるが、国内の経験豊かなシステムインテグレータにとってはビジネスモデルそのものの再構築になる。これは単にロボット産業の問題としてではなく、日本の生産財産業全体の課題として捉える必要がある。

さらに、日本のロボット産業は、国際技術競争力をどこに求めるか、についての議論も深める必要がある。機械製品である産業用ロボットは、見よう見まねで到達できるレベルもある。しかし、そのレベルの価格競争に巻き込まれることは得策ではない。組み合わせ技術の良し悪しで競争するのではなく、まず、本来の機械技術、材料技術など本質的な要素技術を深めること、次に、生産システムとして優れた付加価値を見出すこと、に着目する必要がある。

最後に、厳しい国際競争に打ち勝つには、各企業間で切磋琢磨する自由競争に任せることが

基本であるにせよ、共通的課題や協業的体制により国際競争にあたることも必要で、業界団体、学会、公共機関の横断的活動を活かした、産産連携、産学連携、産学官連携など、課題に応じた取組体制の構築が望まれる。

7.4. 第4章　生活とサービス領域のロボット化事業について

7.4.1. 概要

第4章では生活とサービス領域のロボット化事業を取り上げた。ここでは産業用ロボットとフィールドロボットが対象としていない領域を、生活とサービス領域と呼び、一般の人たちの普段の生活に密接にかかわる製品やサービスを取り上げ、その製品やサービスを提供する事業の中に「ロボット化」が取り入れられている事業を対象としている。ロボット化は、ロボット技術を目的に応じて必要なだけ対象となるシステムに組み込むことを指すが、これはこの領域における“ロボット事業”を生み出していくうえで特に重視している視点となる。この視点を重視することは、ロボット産業を、ロボットを作る産業にとどまらず、市場で求められる製品やサービスならびにそれらの事業化のプロセスをロボット化することによって生まれる産業にまで拡張して捉えることを意味している。

ロボット化は、すべての製品やサービス、その事業化プロセスに組み込みうるが、そうすることが事業性を高めることにつながらなければ意味を持たない。そこで4章ではロボット化事業を成功に導く道しるべとなるように、(1) ロボット化によって生み出される事業がこれまでにどのようなビジネスモデルや対象領域においてうまくいきつつあるのか、(2) それらを支える研究・技術が現在どのようなレベルにあるのか、また、(3) 新たな産業創出に際して重要となる法制度や規格、国の支援策、(4) 主要国の動向についても取り上げている。

（1）主な事業分類と事例

ロボット化事業の立ち上げを検討する際に特に重要となる2つの視点から事例を分類している。その2つの視点とは、どのようなビジネスモデルをとるかという視点とターゲットとなる中心的な顧客が誰で、どのようなベネフィットを提供するのかという視点である。前者については以下の4つのタイプで分類した。①既存製品をロボット化した製品の開発・販売事業。自動車、家電、介護・福祉機器などすでに市場を形成している製品にロボット技術が組み込まれることにより、従来にない顧客価値をもつハードウェア製品の開発、製造、販売事業。②サービスプロセスのロボット化によるサービスイノベーション事業。ロボット技術を組み込むことによって、サービスプロセスをリエンジニアリングし、生産効率を劇的に高めたり、新たな顧客価値を提供したりするサービス事業を創出する事業。顧客に提供されるプロダクトはハード

ウェアではなくサービスとなる。③ロボット技術を活用したトータルソリューション事業。ロボット技術の活用により、個々の顧客の課題に対する最適なソリューションや顧客価値を最大化するプロダクトの組み合わせを提供する事業で、提供するプロダクトはハードウェア、ソフトウェア、コンテンツ、サービスといったホールプロダクトの形態となる。④サービスロボット開発・販売事業。従来の技術では困難であった機能を持つ既存製品にはないカテゴリーのハードウェア製品の開発、製造、販売事業。

後者の視点での分類は用途分類である。以下の9つの用途あるいはターゲット市場をあげている。①日常生活、②エンターテインメント、③生活福祉、④教育、⑤医療、⑥施設・オフィス（清掃、警備、会議）、⑦ホテル・外食、⑧移動（モビリティ）、⑨都市空間（広告、公共、流通、物流）

以上の2つの各分類を掛け合わせた事業の中からこの領域における事業創出に参考になる事例を、その事業の立ち上げや推進に関わってきた人に直接執筆していただいた。①既存製品のロボット化事業の例としては、最近急速に導入が図られるようになっている自動車の危険回避のための機能とその先にある自動運転技術を搭載した自動車、②サービスプロセスのロボット化については、先進的警備サービス事業、学習塾のサービス事業、③ロボット技術を活用したトータルソリューション事業としては病院まるごとロボット化事業、④サービスロボット開発・販売事業の事例として、セラピー用アザラシ型ロボット「パロ」やロボットスーツHAL、などの具体的な事例について最新の状況を紹介している。

（2）研究・技術の動向

ロボット化産業を支え、またその中でイノベーション創出の鍵を握る研究と技術について基本研究・技術領域と注目研究・技術に分けて重要性の高い以下のテーマについて紹介した。ここでも、取り上げた各テーマについてそのテーマの研究の第一人者の方々に執筆していただいた。

基本研究・技術領域で取り上げたテーマは、ロコモーション、マニピュレーション、コミュニケーション、通信・ネットワークの4テーマである。また、注目研究・技術については、安全工学、空間知能、サービス工学、ヒューマノイド、BMI、認知発達システム、生活デザイン、高齢者クラウドの8テーマである。

ロボット化はさまざまな要素研究・技術のインテグレーションであることから、関係する研究・技術領域は極めて広範にわたるが、紙面の都合からここではかなり絞り込んだテーマのみを取り上げた。本章で一貫して述べてきたように産業化や社会への実装を考えた時にロボットを作ることではなく、ロボット化が重要であるとするならば、これからはロボット化する対象となる空間やサービスや生活や社会をどのようにシステムとしてデザインするかと言うことが非常に重要になってくる。注目研究・技術では、そういった観点からのテーマをいくつか取り上げた。

（3）産業化推進施策と関連法令

ロボット化は、性能とコスト、パーソナライゼーションとマスプロダクションといったトレードオフの関係をシフトさせ、従来では実現できなかった変革をもたらすアプローチとなりうる。したがって、本章の対象である生活とサービス領域のロボット化は、現在の社会や生活を満たしている旧来からの製品やサービスの隙間製品としてではなく、全く新たな社会システムや生活スタイルに変革する手段となりうる。例えば、過去に直面したことのない超高齢社会によるさまざまな課題に対しても、新たな解決策を見出すことにつながることが期待できる。しかし、こうしたアプローチを取ろうとすると、既存の社会や生活を規定している法制度やその中で自然と行われてきた慣習、場合によっては考え方まで影響を受けることになる。想定される問題を抽出し、新たな社会や生活の姿を提示し、多くの人たちが参加する形で社会的な実験を試みながら進めていく必要がある。こうした変革のプロセスを念頭に置きながら、これまで多くの、国による推進施策が展開されてきており、特に最近、省庁連携の施策が積極的に推進されている。例えば、その一つである「ロボット介護機器開発・導入促進事業」は、経済産業省と厚生労働省が共同で策定したロボット技術の介護利用における重点分野であるロボット介護機器の支援事業で、要介護者の自立促進や介護従事者の負担軽減を実現すると同時に、ロボット介護機器の新たな市場創出を目指した事業である。

また、ロボット化の促進に大きな影響をおよぼす主な法令や制度についてもふれている。たとえば、自動車の自動運転や公道走行を想定した新たなモビリティに対する道路交通法や道路運送車両法、無人飛行体に対する航空法のほか、電波法、不正アクセス禁止法や個人情報保護法、製造物責任法、外国為替及び外国貿易法による輸出規制などを取り上げた。これらの法規制は、必要に応じて規制をより厳しくすることで産業化が動き出すものもあれば、規制を緩和して市場が形成されるものもある。後者については特区の仕組みを活用し、社会実証実験を行って、その効果の測定や規制の最適化をはかっていくことが必要である。代表的なロボットに関する特区として、つくばモビリティロボット実験特区の取組みを取り上げた。

サービスロボットについては規格化・標準化の取組みも活発化しており、特に対人安全性に関しては日本が主導して規格を策定していこうとしている。安全性に関する試験方法、安全基準、安全認証等の制度設計に関する研究などと同時にこれらの試験や試験データに基づく基準作成などの中心的役割を果たすべく設立された「生活支援ロボット安全検証センター」についても紹介している。他には標準化という観点から、ロボット機能要素のソフトウェアモジュールを組み合わせてロボットシステムを構築するソフトウェアプラットフォームであるRTミドルウェアやロボット用のオペレーティングシステムとして普及が進むROSについても紹介している。

（4）海外の主要国の状況

研究を中心とした取組みでは日本が長らく優位であったが、産業化や社会への導入では足踏

みをしており、いくつかの国々の動きが活発化し、うかうかしていられない状況になっている。高齢者や要介護者への対応に積極的にロボット技術の導入をはかろうとしているのはデンマークなどの欧州の国々やオーストラリアである。また、国策による重点投資により、ロボット分野に対する手厚い産業化支援を行っている韓国や今後、他の産業同様に成長が加速すると考えられる中国についても取り上げている。特に注目すべきは米国である。米国はこれまでも新たな産業創出の起点となってきたが、ロボットにおいても、無人走行自動車開発のDARPAチャレンジやネバダ州における自動走行車の公道走行を認める法律の施行、災害現場対応課題クリアを掲げたヒューマノイドロボティクスチャレンジなどロボット技術によるイノベーションを創発するような環境整備が打ち出されており、我が国にとって脅威である。

7.4.2.　今後の課題と提言

これから先、さらに変化が進む社会の姿は成熟社会と高齢社会である。両者に共通しているのは個々人が必要とするものや欲求するものが個々人ごとに異なり、その個々人の満足を充足するデマンドが高まるという点である。

成熟社会における個人は自らの満足を満たすために選択し、行動する。その満足は自らのあるべき姿を実現することによって満たされるようになってきている。したがって、企業は生き残りをかけて個々人の満足を実現するための競争優位な製品、サービスを、個々人のこの自己実現欲求を引出し、明確化し、それを各個人と共創しながら実現していくという方向に向かっていくことになるであろう。

加えて、成熟社会ではより人間らしい生活や仕事を求めるようになる。人間がやるべきことや人間がやった方が望ましいことは人間に、そうでないことは人間に代わる機械システムが担う、人間を系の中に含むシステムが求められるようになるであろう。この場合も、個々人によってどこまでを機械システムに担わせるのが最適であるかが問題となる。以上のような個々人への最適化は、個々人の特性や状態を把握し、個々人が望んでいることを、対話を通して知り、それに対して適したサービスを提供することによって可能になるが、これらはロボット技術を組み合わせることによって、コストの観点からもアウトプットの観点からも従来の方法では困難な高いレベルで実現可能である。

一方、高齢社会については、高齢化率が世界でもっとも高い日本において、高齢化によって生じる課題の解決が喫緊のテーマとなっている。その解決がはかれれば、今後、多くの国々が同様に直面することになるこの課題の解決策を提供することができる。しかし、この課題はさまざまな要因が相互に関係しあって容易に解決できるものではない。高齢になるほど、身体機能が否応なく低下していくばかりでなく、社会への参加機会や日常生活における活動の場や機会が減少していくことが多く、これらが相互に悪影響しあって、健康という面からも経済面からも負の循環に陥っていく。しかも、この状況は個々人によって千差万別である。個々の高齢者の心身の状態や活動の状況を把握し、対話などを通して興味や目標を引出して、その実現に必要となる身体機能を補ったり、活動の場への参加を促したりすることが必要になる。ロボッ

ト技術の導入は、必要とされる身体機能のサポートや拡張、状態の検知や予測などを可能とし、従来ではできなかった大量の個人への経済性の高い最適化を実現可能とするであろう。

また、今後は第1に個への最適化、個の満足を実現するためのロボット技術の高度化とそれをビジネスとして成立させるビジネスモデルの創出が課題となってくる。特にこれまでロボットの産業化ではビジネスモデルの検討は後回しにされてきた。ロボット産業と言ったときにロボットを作る産業だと思ってしまう視点を、ロボット化産業と読み替えることによって、ロボット技術によって顧客価値を生み出す産業であるという視点に転換することが重要である。ビジネスモデルという観点からは、個々の顧客の満足を充足するためにはトータルソリューションの提供という形になると考えられる。

第2に個への最適化と同時に社会全体としての最適化をどうするかという問題を解決しなくてはならない。個々人間の関係性をコントロールし、従来の方法では実現しえないレベルでコストとベネフィットの観点からコミュニティ全体、社会全体として最適化することが必要となる。どのように統合化するかには、コミュニティデザインや社会システムデザインの方法論が必要となる。すなわち、社会全体として最適化するという問題に応えるために、個への最適化をマスとしてコントロールするための、環境や社会の状態をセンシングする技術やビッグデータ、移動体の制御などのロボット技術の開発・適用に加え、より重要なのは社会システムデザインの方法論の確立とそこから導き出される仮説を検証する社会実証の方法を確立しなくてはならない。また、こうした方法論を身につけ、社会システムやビジネスシステムを生み出そうとするアーキテクトの養成が不可欠である。

7.5. 第5章　フィールドロボットの現状と課題

7.5.1.　概要

フィールドロボットは、狭義には屋外環境で稼働しているロボット、広義には屋外、もしくは、屋内外で活動する遠隔操作機械として定義される。自動車は、自動車産業としてとり扱われるので、本白書に記載する新視点でのフィールドロボット分野では、フィールドロボットに含められるものである。

フィールドロボットは産業用ロボットに比べても遜色のない長い歴史をもっているが、期待の大きさにも関わらず、本格的な市場投入は、これからという状況にある。フィールドロボットのこれからの市場を考えるときは、ロボット単独での市場を考えるのでなく、ロボットが必要とされる社会の到来、もっといえば、現代が抱えている安心・安全の確保、少子高齢化、環境保全等の様々な課題を解決できる社会つくりに新しい解答を与えるものの一貫として、フィールドロボット・ロボットシステムがあるという観点が肝要である。

上記の考え方に立ち、第5章では、フィールドロボットについて、経済性向上、危険回避、

新しい社会創造に焦点化し、そこからなるべく多くの分野に思考展開できるように配慮して述べた。

（1）開発現状と市場

A）建設・土木分野

建設、土木分野に活用されるロボットは、1990年以前の初期開発では、労働環境の改善による作業者の確保が中心であったが、バブル崩壊によって、その目的は経済性追求に変更された。したがって、大学における建設ロボット研究開発プロジェクトや企業において、コンクリート床仕上げロボット等の特定作業用ロボットが数多く開発されたが、これらが人に代わって大幅に導入されることはなかった。また、ビル建設を工場化するような自動建築システムも導入されたが、コスト面での制限もあり、現在ではほとんど使われていない。しかし、近年になって、ビル解体作業に同じような自動化システムが利用されつつある。今後、更なる高齢化の進展に伴って、これまでの知見を活かしたロボットシステムが導入されていくであろう。

B）社会インフラ保全ロボット

社会インフラ保全ロボットは、主として、橋、トンネル、公共施設等の構造物検査の自動化要求に対して開発されてきた。しかしながら、市場といえるほどの市場が育っているとは言い難い。この主たる原因は、対象構造がロボット化を全く想定していないこと、検査方法の人的依存度が大きい等、ロボット導入障害が大きい割に効果が薄いことによる。これまでの、インフラの保全は人との共存を図りながら、ロボット化を進めてきたが、国土強靭化構想で計画される社会インフラについては、建設段階からのロボット化を考えた構造がとられていくことによって、ロボット化が大きく進展していくはずである。

C）プラント保全分野

石油プラントに代表される化学プラントは、老朽化が進み、保全はプラント寿命延長に不可欠である。しかし、この分野は社会インフラ保全分野以上のアクセス性の悪さと、検査の困難性から、ロボット化が大きく進んではいない。しかし、ベテラン保全員の減少もあり、経済性、簡便性、高度な検査性を有するロボットの開発と運用手法の双方が高まっていく中で、比較的人との競争力の高い配管やタンクの検査、補修を中心にして、ゆっくりとしたロボット導入が進むであろう。

D）農業分野

農業従事者の高齢化は深刻な問題である。したがって、農作業の負荷軽減のためのロボットとして、トマトやイチゴの収穫ロボット、土壌消毒ロボットなどの個別ロボットの開発が進んでいる。また、外国の大規模農場では、農業機械の自動化によるロボット化が着実にすすんで

いるが、日本では狭い耕地や中山間部の地形の複雑さから、稼働率の低下や高価格化がロボット導入の阻害要因となっている。したがって、現状の阻害要因を如何に解決できるかが、農業ロボット導入の鍵である。一方、高齢化はすでに限界にあり、従来農業機械の高度化によるロボット化、また、植物工場に見られるような新しい農業システムとの連携によるロボット導入は、避けて通れない状況にある。また、林業を含めた農業分野ロボットを経済性追求からのみとらえるだけでなく、食糧安全保障や国土保全システムの一環としてとらえることで、ロボット導入の意味は大きなものとなるはずである。

E）災害対応ロボット

東日本大震災以降、災害に対する関心が飛躍的に高まり、災害対応ロボットへの関心も大きなものがある。しかしながら、福島第一原子力発電所対応ロボットにもみられるように、日本では、災害対応ロボットの定常的な市場がなく、軍事用ロボットを水平展開できる欧米諸国とは市場形成力に大きな違いがある。しかしながら、災害で失われる人的、経済的損失は無視できないものである。災害列島であるともいえる日本においては、人命救助とそれに携わる従事者の安全確保の観点から、国や社会維持の観点での政策的市場育成が行われれば、災害ロボットの導入と実用化が進展していくはずである。

F）原子力分野

原子力分野では、放射性物質を扱ったり、高放射線環境下で行わなければならない作業が存在するために、作業員の被曝を防止・低減させる上で、ロボット技術を適用し、遠隔操作によって作業を行うニーズが多く存在する。そして、原子力プラントや核燃料再処理施設をはじめとする様々な施設において、それぞれのニーズに応じた遠隔操作機器の開発、導入が行われてきた。

2011年3月11日に生じた東日本大震災と津波によって、東京電力福島第一原子力発電所の事故が発生した。この事故への対応、及び廃炉にむけての中長期措置において、極めて多様で重要なロボットや遠隔操作機器のニーズが発生した。また、事故発生直後、原子炉建屋の周辺は放出された汚染物質により放射線量が非常に高く、作業員が接近することも非常に困難な状況であり、様々な場面でロボットなど遠隔操作可能な機器の活用が求められた。この多様なニーズに対し、これまでに様々なロボット技術が投入されており、これから廃炉に向けて、さらなるロボット技術の開発・投入が求められている。

G）その他のフィールドロボット

近未来も含め、大市場となることは難しいように思えるが、夢の実現、環境の特殊性、技術的困難性が高いロボット応用の分野として、①宇宙、②海洋、③軍事用などがあげられる。しかしながら、軍事用ロボットは使用目的が特例であり、基本機能において、共通要素はあるにしても、他のフィールドロボットとは、別区分にすべきかもしれない。

（2）技術

フィールドロボットは、移動と作業の双方を持つものが多く、一般にいうロボットの要素技術のすべてを備える必要がある。また、屋外環境下で活動することから、フィールドロボットに特筆すべき技術として、以下の考慮が必要となる。

- 自然環境への適合：自然環境は不確定要素、時事刻々の状況変化、また、その環境を人が制御できるものではない。たとえば、昼夜、雨天、風雨、低高温、砂塵等への環境変動対策が代表的なものである。
- 不整地対応：主として、道路を走行する自動車との大きな違いが、モデル化の難しい不整地適合性である。
- 支援環境の設置：一方で、ロボットの適応地域にロボット用インフラを用意すれば、その活用が実用化を促進する。その代表がGPSである。

A）建設・土木分野

従来の有人運転機械を無人化し、フィールドロボット化を促進したのが高精度GPSの活用である。大規模鉱山等では見通しが良く、GPS電波の遮蔽がおこりにくく、また、道路幅確保によるある程度の走行誤差を容認すること、また、鉱山内という管理された環境内で人が安全管理を行うことで、信頼性の高いナビゲーションを可能としている。

無人化施工は日本で実用化された優れた建設ロボットの遠隔操作システムである。このシステムは、雲仙普賢岳爆発に伴う予期せぬ火砕流から施工者を守るために、数km離れた安全な場所から無人建設機械をテレビ画像とGPSを活用した遠隔操作や自動運転を組み合わせて、除石工事等を遂行した。その後、有珠岳噴火対策、豪雨による土石流対策、そして、福島第一原子力発電所事故時の緊急対応やがれき処理等で活躍している。

建設工事は様々な作業環境下での作業を必要とする。したがって、個々の作業のロボットよりも、工事の全体をシステムとして取り扱うことにより、その効果をより大きくできる。そのためのシステム技術として、ICTを活用した情報化施工（国土交通省）が開発されている。

B）社会インフラ保全ロボット

社会インフラ保全ロボットの特徴として、難所アクセスがある。吸着によるコンクリート壁面移動、磁力を用いた鉄構構造の移動、送電架線の移動、垂直梯子移動、下水管走行等、多くの挑戦的な例がある。しかし、アクセス手法が特殊であることが、汎用適用に向かず、発想を変えたアクセスシステムの開発が必要であろう。また、動力と通信の確保も重要であり、主として有線式の場合、電線処理に多くの提案がなされている。

C）プラント保全分野

プラント保全における特徴的技術の一つは、配管や建屋構造物へのアクセスである。特殊機

構の応用、磁力の応用等によって曲がり配管やバルブ通過等、多くの開発例があり、タンク壁面検査装置等、一部の適用例がある。また、走行の妨げになるケーブル処理手法についても、独創的提案が示されてきた。しかし、一長一短もあり、また、ロボット故障時の配管閉鎖に対する一般解がなく、今のところ限られたところの実用にとどまっている。

プラントやインフラ保全の最初の要求は、対象の健全性の検証といえる。したがって、超音波、渦電流、打音、目視検査技術はロボット技術と保全の双璧をなすものであり、検査手法の組み合わせの最適化や信号処理方法の適正化、双方の得意技術を生かしたロボットシステム作りが望まれる。

D）農業分野

日本における農業のロボット化は、圃場の狭さと土の多様性対策を要する。したがって、これまでの農業機械を参考にした車輪やクローラ走行機構が提案されている。また、高精度GPSの導入も盛んで、高精度走行による収穫ロボットの開発が行われている。しかし、これらの個別対応ロボットでは、技術の展開性がなく新しい工夫が必要になっている。

E）災害対応ロボット

災害対応で求められるのは、各種センサを現場に移動させ、マッピング等それらを判りやすく人に伝える技術である。そして、次に必要なのは、救助や復旧作業能力である。

災害対応ロボットは、予測できない環境の中での作業を要求されることが多く、人の判断力を有効に生かせる仕組みが重要である。また、ロボットの操作とロボット機能を熟知し、現場環境を構築できる操作者の訓練・育成が重要である。

また、不整地踏破技術は災害ロボットにおいて特徴的な技術である。不整地適応性の一般化やヒト型ロボットの災害対応環境への適応性の研究開発が実施されている段階にある。

F）原子力分野

ホットセル内での放射性物質のハンドリングに関しては、古くからマスター・スレーブ式のマニピュレータが利用されてきた。一方、原子力施設の監視、点検、保守用のロボットの開発に関しての水中点検ロボットなどの専用機については実プラント内で稼働しているものも多い。

福島原発事故の緊急対応、廃炉措置においては、多数のロボットや遠隔操作機器などが開発・活用され、調査、瓦礫除去、除染などに用いられている。いわゆる「ロボット」以外のロボット技術も、廃炉に向けた様々な作業において活用されている。

7.5.2.　今後の課題と提言

フィールドロボットの普及提言は、すでに5章に述べられているが、ここでは、新視点も含め、ロボット化というよりロボット化することの意義を含めた提言を3つの観点から、各1件に絞って述べる。

（1）経済性向上のためのフィールドロボット

経済性向上の評価は市場のみが決定する。コストダウンへの直接的妙案を提示することはできないが、建設機械の高度化の先に建設分野のフィールドロボットがあるとの考えに立つと、高度な建設機械こそ建設ロボットであるとの解が存在する。すなわち、建設機械のデュアルモード化が実現すれば、特別仕様の建設ロボットハードが不要になり、稼働率が高く、また、緊急時には災害対応ロボットとして活用することも可能となる。デュアルモード化にはいくつかの課題もあるが、技術的には解決できないことはない。したがって、建設ロボットが先行して、デュアルモード化技術を開発していくことが、建設ロボット普及の近道といえる。また、このデュアルモード技術は農業機械の高度化の観点にたてば、農業・林業ロボットにも展開可能である。

（2）危険回避のためのフィールドロボット

危険回避ロボットの代表が災害対応ロボットであるとすれば、その普及には国策としての災害対応組織の存在が重要である。しかし、ロボット技術の未熟性を指摘する向きもあるので、当面は、ロボットの開発を通じた普及策を継続的に進めることにならざるを得ない。このときの開発は長期的観点に立った継続的活用組織実現に向けた活動が肝要である。早急な実用性ばかりを追求しても、事業性がない限り、なにを作っても研究開発で終わってしまう危険性についての学習効果を生かすべきである。

なお、福島第一原子力発電所の廃炉は、廃炉そのものがミッションであるので、危険回避ロボットの範疇ではあっても、特殊用途にならざるを得ない。しかし、長期的観点に立てば、災害対応ロボットとの接点もありうるので、連携した技術開発をしていくことが肝要である。

（3）社会創造のためのフィールドロボット

社会創造といえば大げさであるが、日本の少子高齢化問題はかつてない問題であり、この問題を解くとすれば、新しい社会の仕組みを創造するしかないともいえる。人口、特に、労働人口が激減していく中で、活力ある社会を保つとすれば、何らかの形でロボットが支えるしかないともいえるだろう。

この過程で起こると思われる過疎と集中といった課題に対する解決を支援、特に、過疎社会の課題解決・支援するのがフィールドロボットの大きな役割である。過疎地の代表が限界集落といえる人口の集積していない地域である。村ごとロボット化の発想はこの問題を解く大きなカギであり、その大きな基盤としてフィールドロボットが存在する。これには百家争鳴的議論が有りうるが、村を捨てる以外の解には、無人自動車を含め、フィールドロボットの存在が重要であることはそれほど間違っていない。村を捨てる解にしても、過渡的に限界集落問題は避けて通れないことを考えれば、ますますフィールドロボットは重要となる。具体的例については7.2.5のフィールドロボットの新視点で紹介したので割愛するが、限界集落はいずれ都市部

も巻き込んだ問題となっていくのは多くの識者が認めている。例えば、農業システムとしてのフィールドロボット成功は、日本の行く末に大きな可能性を示すものである。

7.6. 第6章　ロボットを社会実装するために

7.6.1. 概要

第6章では、第5章までのように、現在の技術からフォアキャスト型の議論ではなく、将来のあるべき未来像を描いたうえで、それに必要な技術をバックキャスト的に描く議論の手法を取った。これは従来のRT要素の組み合わせだけでは社会的な課題解決に繋がらないことの反省によるものである。

6.1では、小さな社会的課題は、人へのサービスを考えることであり、まずサービスの形態を考え、そこに必要とされる技術やモノを考えることが、新たなロボット産業化につながるのではないかと考え、サービス主導型ロボット設計の重要性について取り上げた。

6.2では、大きな社会的課題を解決する事例を示す前に、社会的問題について整理すると同時に、来るべきあるべき社会像を取り上げた。

6.3では、大きな社会的課題を解決するということは、非常に複合的かつ大きな問題を取り扱うこととなり、従来の一般解を求めることは不可能であると同時に、ある特定地域の拘束条件を当てはめ、特殊解を求めることが求められているといえる。6.3ではいくつかの地域での取り組み事例を取り上げながら、大きな社会的課題解決の糸口を模索した。

6.4では、社会実装の際に立ちはだかる問題の事例として、ロボットの安全性に関する、法制度、国際標準化、生活支援ロボット実用化プロジェクトと安全検証センターの取り組みなどを取り上げた。

7.6.2. 今後の課題と提言

第6章では、従来の積み上げ型のロボット開発手法とは異なり、最終形態に求められる要求事項を先に明らかにし、逆に個々の要素に求められる要求事項を決めていくという、従来のロボット設計・開発手法とは大きく異なる手法を取ることが、ロボットの社会実装の手助けになると信じ述べている。

今までのロボット開発は、「社会実証を目指した、個々の要素の足し合わせ技術」であったフェーズから、「社会実装を目指し、いらない要素を取り除く引き算の技術」に転換しないと、本当の意味で社会に役立つものは出来ないのではなかろうか。

特に第6章の中で、「街づくり」という、一見、個々の技術とはかけ離れて見える事例を複数あげた。なぜなら、ロボット研究者のように、RT要素の組み合わせが得意なシステムエンジニアが「街づくり」に関わることで、複雑に入り組んだ問題を整理することができるととも

に、社会的な問題解決の歯車としてロボットやRT要素が入り込むことが、ロボットの新しい社会実装プロセスなのではないかと考えるからだ。

昨今、モノからコトへ、と言われ始めている中で、モノづくり産業からコトづくり産業（サービス産業）へ転換し始めている企業（IBM等）が多く出始めている。特に、モノづくりの中でも、iPhoneやiTunesに見られるように、上流設計としてサービス形態を含めたサービスシステムを構築する部分が多くの利益を生み、下流設計は常時、価格破壊にさらされることで、労力の割には利益率が少ないことは言うまでもないことである。

日本がもともと、上流設計やサービス設計がなかったわけではなく、「工芸」として下流設計である“工”と上流設計である“芸”とが融合した文化を持っていた日本が、いつからか“芸”の部分を忘れ去ってきてしまったのかもしれない。

上流設計をしながら、匠の技を利活用できる産業構造が、今後の日本には求められ始めているのかもしれない。

索　引

さ

し

す

せ

第7章

た

ち

つ

て

と

に

の

は

ひ

ふ

へ

ほ

ま

み

む

め

も

や

ゆ

り

れ

ろ

第7章

NEDOロボット白書検討ワーキンググループ
メンバー一覧

ワーキング長

佐藤　知正	東京大学　フューチャーセンター推進機構　RTイノベーションコンソーシアム
第1章	
平井　成興	千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター
水川　真	芝浦工業大学 工学部 電気電子学群 電気工学科
林原　靖男	千葉工業大学 工学部 未来ロボティクス学科
第2章	
松日楽　信人	芝浦工業大学 工学部 機械機能工学科
琴坂　信哉	埼玉大学 大学院理工学研究科 人間支援・生産科学部門（工学部　機械工学科）
萩田　紀博	ATR社会メディア総合研究所長 知能ロボティクス研究所
横山　和彦	株式会社安川電機 技術開発本部 開発研究所 つくば研究所
第3章	
小平　紀生	三菱電機株式会社 FAシステム事業本部 機器事業部
須田　大春	株式会社SDL サスティナブルデベロップメント研究所
牧田　哲男	株式会社古川製作所
矢内　重章	一般社団法人日本ロボット工業会（JARA）
前川　昭一	株式会社安川電機 ロボット事業部
第4章	
石黒　周	株式会社 MOTソリューション
伊藤　健三	株式会社ニチイ学館
北垣　和彦	パナソニック株式会社 モノづくり本部 生産技術開発センター 企画グループ
廣瀬　通孝	東京大学 大学院情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻
光石　衛	東京大学 大学院工学系研究科 機械工学専攻
西田　佳史	独立行政法人産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究センター
第5章	
大道　武生	名城大学 理工学部 メカトロニクス工学科
芋生　憲司	東京大学 大学院農学生命科学研究科 生物・環境工学専攻 生物機械工学研究室
田所　諭	東北大学大学院 情報科学研究科 応用情報科学専攻 災害科学国際研究所 NPO法人国際レスキューシステム研究機構
柳原　好孝	東急建設株式会社 技術研究所 メカトログループ
横小路　泰義	神戸大学 大学院工学研究科 機械工学専攻

吉瀧　裕　　　大阪大学 大学院工学研究科 機械工学専攻 動力機械システム工学領域 コマツ共同研究講座

淺間　一　　　東京大学 大学院工学系研究科 精密工学専攻

第6章

大場　光太郎　　独立行政法人産業技術総合研究所 知能システム研究部門

風間　博之　　　株式会社NTTデータ 技術開発本部 ロボティクスインテグレーション推進室

小林　正啓　　　花水木法律事務所

成田　雅彦　　　産業技術大学院大学 産業技術研究科 情報アーキテクチャ専攻

＊下線は取りまとめ委員

2012年度ワーキンググループメンバー

榊原　伸介　　　ファナック株式会社　ロボット研究所

高田　亮平　　　新日鐵住金株式会社　設備・保全技術センター機械技術部　機械技術開発室

編集後記

～「ロボット技術が築くスマートな社会」の構築に向けて～

ー今、日本におけるロボット技術の役割を考えるー

近年、「失われた20年」の議論とともに、技術立国、ものづくり立国を標榜してきた日本の産業競争力の低下を危惧する声が珍しくなくなりました。技術・人材を資源とする日本が、少子高齢化や製造業の海外移転等が進展する厳しい状況下で、世界の国々と良好なパートナーシップを築きつつ、経済成長を維持するためには、先進国との技術開発競争には常に優位性をもって差別化を図りながら、先進国へのキャッチアップを目指す新興国に対しても、ワンステージ先を行く先端技術（ものづくり）を保ち、さらに、先進国・新興国に対して、付加価値の高いサービス（ことづくり）も提供すること等によって、グローバルビジネス環境下における日本の産業競争力を維持、強化することが不可欠であり、政府の各種の白書や報告書等でも、同様の論調が目立っています。

特に、将来の産業競争力と国富の担い手として期待が高まっている「サービスロボット」の分野では、かつては、来客の応対をしたり、ダンスを踊ったり、楽器を演奏したりするなどの演出によって、技術の進歩を皆が歓迎した時代がありました。そして現在では、「夢を語る演出装置」から、生活や社会に密着した「ロボット技術（RT）」として、障害物等を検知して自律運転を行う移動体とそれを使った総合的な効率的な移動・物流システムや、ビッグデータや各種センサを使って個人に最適な健康管理情報や介護時の見守り機能を提供する情報端末や家電、警備システム等、また、それらが組み込まれたスマートな住宅や街など、あたかも日常のライフスタイルや社会システムに違和感なく溶け込んだかのように、ロボット技術が私たちの現実の生活シーンに組み込まれつつあります。ロボット技術は、安全・安心、快適・便利で、愉快な要素も併せ持った、ロボット技術らしい「ソリューションサービス」を提供する基盤的な要素技術として、私たちが意識しないうちに普及が始まっています。

これを私たちは、「サービスロボットのソリューションビジネス産業化」と呼んでおり、日本のサービスロボットは、究極的には、これを目指して、日々、大規模な研究開発の国家プロジェクトなどの様々な施策が取り組まれています。一方、地域・地方が活性化することなく、大都市だけが繁栄するような一極集中型の発展では、日本が「失われた20年」を取り戻すことには限界があるとも考えられています。各地域が、それぞれの特色（人材、地場産業、特産物、観光資源等）とロボット技術（RT）や情報技術（IT）をうまく融合・駆使して、例えば、地域の様々な人材が有する職人的な技能をネットワーク化し、「コンビニ化した便利屋」のように住民の安全・安心、快適・便利で愉快な暮らしのために活用したり、地域医療・介護に役立てたり、他の地域ではマネのできないものづくりやサービス（試作品提供や修理サービス）をインターネットも活用しながら世界を相手にカスタムメイド的にこなし、そのデータを再びものづくりにフィードバックするなど、身の丈にあった地域経済や社会システムを、ロボット技

術を基盤に地元で創り育て、定着させる取り組みも始まっています。さらに近年は、一次産業を「六次産業化」する動きとも相俟って、産学官が連携して異分野の技術を融合させ、人材の交流・育成等も通じて、新しい技術やサービスを創造し、新たな需要を開拓し、地域から特色あるイノベーションと経済発展を沸き起こす取り組みも始まっています。

これまでは、人間の方がより適切にできることにも、無理にロボット技術を当てはめようとした時期があったことも事実ですが（あなたはクラシック音楽を正確な動作のロボットの演奏で聞きたいですか、それとも表現力豊かなプロの演奏で聞きたいですか）、今後は、ロボット技術を身近な生活空間や社会システムに違和感なく適切に組み込むことを目指した、スマートな社会を構築する方向で、ロボット技術の普及を図っていくステージに移行すると思います。

ー日本はロボット技術でもっと強くなれるー

また、「産業用ロボット」の分野は、日本の高度経済成長と高品質なものづくりを支えてきましたが、近年では、新興国において産業用ロボットの開発、利用が積極的に進められています。産業用ロボット業界は、従来は、高品質なものづくりを実現するための「生産機器・システム」を提供することを生業としてきましたが、生産と消費の拠点がアジア等の新興国へシフトする動きとも相俟って、今後は、例えば、これまでは扱いにくかった軟体なども扱え、桁の違う稼働率・生産効率を有し、設置場所に柔軟に対応できる可搬型で、変種・変量・変期間生産等にも迅速に対応でき、人と共存して安全に作業をこなすなど、従来の延長線上にない生産システムを構築し、それを、システムエンジニアリングを含めて、よりグローバルで付加価値の高い生産・物流体制として構築し、日本はその拠点となって高品質の「ものづくりサービス」をグローバルに提供する体制へと転換が求められています。

災害発生時等に活躍するロボット（災害対応ロボット、特殊環境用ロボット、フィールドロボット等）の分野でも、先の原子力発電所の事故現場では保守・管理面からの制約等により、真っ先に活躍したとは言えないものの、軍事技術とその利用実績に裏打ちされた欧米製のロボットでも成し得なかった様々なミッションを日本のロボットが見事に完遂しました。首都直下型地震、南海トラフ地震、インフラ危機等が叫ばれる今日、産業施設等が太平洋側に密集している現状に鑑みれば、仮に、南海トラフ地震が発生し、有人作業がままならない状況下になったとしたら、ロボット技術を用いた迅速な緊急対応、復旧・復興作業が日本全体で求められることは明らかです。さらに、世界各地で毎年のように発生している大規模な自然災害や、事故・テロ等によるCBRNE災害（化学剤、生物剤、放射性物質、核物質、爆発性物質による災害）に目を転じれば、これらの減災・防災面で経験豊富な日本のロボット技術がグローバルに活躍できる可能性があり、国内外の産業施設等に対しては、ビジネスとしての貢献の可能性も拡がります。

ー日本のロボット技術を産業競争力の強化と国富の担い手へつなごうー

携帯型の情報・音楽端末や家庭用ゲーム機等を例とすれば自明ですが、単に機械としての「ハ

ード」だけを開発しても、魅力的なソフトやOS、利用環境やインフラ等が整わなければ（その整備にも戦略性が要りますが）、その普及、定着や産業としての発展は見込めません。また、ロボット研究者が独りよがりで開発した技術シーズ先行型のロボット技術にも限界があり、現場の実情やニーズに即した、現場で役に立つユーザ視点のロボット技術を開発しなければ、市場からは受け入れられません。

私たちは、これまでに積み重ねてきたロボット技術に関する様々な研究等の成果、ノウハウ、経験、人的ネットワーク等の貴重な資産を有機的にリンクさせて、その価値に持続性、一貫性を持たせつつ蓄積し、かつ、ロボット技術に馴染みが薄い方々に対しても、ロボットの学者、メーカ、ユーザ、システムエンジニア等が持つ問題意識や将来への想い等をアピールすることにより、国内外でのロボット技術の積極的な活用、普及を図り、もってロボット産業の発展・活性化を目指すべく、ロボット白書の執筆、編集を試みました。

ロボット技術とその産業化を取り巻く環境には様々な課題があり、これまで培ってきた日本の叡知ともいえる優れたロボット技術を、次の世代の産業競争力や国富をもたらす基幹産業へと育てるには、もう一皮むけたイノベーションが必要とされています。本白書を手にした皆様が、日本のロボット産業の必要性、将来性、課題等についてご関心とご理解を示されることで、このロボット白書が、ロボット産業の発展に寄与できれば幸甚に存じます。

最後に、この「ロボット白書」は、ロボット技術分野の第一線で活躍されている著名な専門家の方々のご協力のもとで、執筆、編集がなされました。これらの方々には、ご多用にもかかわらず、快くロボット白書の作製趣旨にご賛同いただき、ロボット白書の基本的な構成と骨格部分となる「骨子」の執筆（24年度）、骨子をベースとした具体的な原稿の執筆、編集（25年度）をしていただきました。また、それらの際には、白書の構成全体を俯瞰しつつ、各章を貫く基本的な理念や各章のバランス、読者へのメッセージとして込めるべきロボット技術に関する問題意識や将来性の検討等をロボット白書検討ワーキンググループ（グループ長 佐藤知正 東京大学特任教授）が担い、章ごとに計6つのWGを設置し、問題意識等を述べあい、摺り合わせをしていただきました。本白書は、これらの専門家の方々による御尽力の賜物と言っても過言ではありません。さらに、調査委託先としてデータ収集等を担っていただいたみずほ情報総研株式会社の方々、様々な面からロボット白書の作製に助言、後方支援等を提供していただいた経済産業省産業機械課の方々にも、感謝を申し上げます。

平成26年3月
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術開発推進部 機械システムグループ